

中华人民共和国行业标准

铁路工程地质岩溶勘测规则

TBJ 28—91

主编单位：铁道部第二勘测设计院

批准部门：铁 道 部

施行日期：1 9 9 1 年 8 月 1 日

1 9 9 1 北 京

关于发布《铁路工程地质泥石流勘测规则》 等四个铁路工程建设标准规范的通知

铁建函[1991]202 号

根据部铁基〔1986〕291 号、铁基〔1986〕1316 号、基技〔1988〕107 号文安排,由第二勘测设计院主编的《铁路工程地质泥石流勘测规则》(TBJ27—91)、《铁路工程地质岩溶勘测规则》(TBJ28—91)、《铁路工程地质滑坡勘测规则》(TBJ34—91),专业设计院主编的《铁路部分预应力混凝土梁设计及验收规定》(TBJ106—91)业经部审定,现予批准发布,自 1991 年 8 月 1 日起施行。

本规范由部建设司负责解释。本规范及其条文说明的印发由建设司标准科情所负责组织。

铁 道 部

一九九一年五月六日

编 制 说 明

本规则是根据铁道部铁基〔1986〕291 号文件的通知,由我院负责编制的。

在编制过程中,进行了调查研究,征求了有关单位的意见,并在总结经验,吸取科研成果的基础上完成了送审稿,经铁道部组织审查后定稿。

本规则是在《铁路工程地质技术规范》(TBJ12—85)的基础上,对岩溶工程地质工作所作的具体规定,内容共分八章,另有五个附录。主要包括:总则,新建、改建铁路勘测设计、施工阶段及运营期间岩溶工程地质工作,以及岩溶的调查测绘、勘探、试验与观测、参数计算及水量评估等。

在执行本规则过程中,希各单位结合工作实践和科学研究,认真总结经验,注意积累资料,如发现需要修改和补充之处,请将意见及有关资料寄送铁道部第二勘测设计院(成都通锦路,邮政编码:610031),并抄送铁道部建设司标准科情所(北京丰台北路 24 号燕丰饭店内,邮政编码:100071),以便修订时参考。

铁道部第二勘测设计院

一九八九年三月

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 第一章 总 则 | 1 |
| 第二章 新建、改建铁路勘测设计阶段岩溶工程地质工作 | 2 |
| 第一节 岩溶工程地质先线 | 2 |
| 第二节 新建铁路踏勘(草测)岩溶工程地质勘测 | 3 |
| 第三节 新建铁路初测岩溶工程地质勘测 | 3 |
| 第四节 新建铁路定测岩溶工程地质勘测 | 6 |
| 第五节 改建既有线及增建第二线岩溶工程地质勘测 | 8 |
| 第三章 施工阶段岩溶工程地质工作 | 9 |
| 第四章 运营期间岩溶工程地质工作 | 10 |
| 第五章 岩溶地质调查与测绘 | 11 |
| 第一节 准备工作 | 11 |
| 第二节 地层、岩性与地质构造调查 | 11 |
| 第三节 地貌与洞穴检查 | 12 |
| 第四节 水文地质调查 | 13 |
| 第五节 岩溶地面塌陷调查 | 14 |
| 第六章 岩溶的勘探工作 | 16 |
| 第一节 一般规定 | 16 |
| 第二节 物探 | 16 |
| 第三节 钻探 | 16 |
| 第四节 挖探与轻型勘探 | 17 |
| 第七章 岩溶试验与动态观测 | 18 |
| 第一节 连通试验 | 18 |
| 第二节 水样、土样和岩样试验 | 18 |
| 第三节 水文地质动态观测 | 19 |
| 第八章 岩溶水文地质参数计算 | 21 |
| 第一节 参数计算 | 21 |

| | |
|---------------------------|----|
| 第二节 隧道涌水量的评估方法 | 23 |
| 附录一 本规则名词解释 | 25 |
| 附录二 对岩溶进行工程处理的原则及措施 | 28 |
| 附录三 岩溶塌陷调查表 | 30 |
| 附录四 铁路沿线岩溶可能塌陷地段调查表 | 31 |
| 附录五 本规则用词说明 | 32 |
| 附加说明 | 33 |
| 《铁路工程地质岩溶勘测规则》条文说明 | 34 |

主 要 符 号

α ——降雨入渗系数；

S ——承压含水层的贮水系数；

μ ——潜水含水层的给水度；

T ——含水层的导水系数；

K ——含水层的渗透系数；

h ——钻孔中水柱高；

X ——降水量；

Y ——地表迳流量；

Z ——蒸发量；

t ——时间；

Q ——流量、涌水量；

F ——补给面积、集水面积。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为了对岩溶工程地质工作提出统一的技术要求,以提高勘测质量,适应铁路工程建设需要,制定本规则。

第 1.0.2 条 本规则适用于国家路网铁路勘测设计、施工阶段及运营期间岩溶工程地质工作。其适用范围限于碳酸盐岩类岩溶。

第 1.0.3 条 岩溶工程地质工作,除应按本规则执行外,尚应符合铁道部现行的有关标准规范的规定。

第二章 新建、改建铁路勘测设计阶段 岩溶工程地质工作

第一节 岩溶工程地质选线

第 2.1.1 条 岩溶地区线路应避免在下列地带延伸,不能绕避时,应以最大交角通过;

- 一、可溶岩与非可溶岩的接触带。
- 二、有利于岩溶发育的褶皱轴和断裂带及其交汇处。
- 三、岩溶水富集区及岩溶水排泄带。

第 2.1.2 条 孤峰平原区,线路应选择在覆盖土较厚、地下水位埋藏较深的地段通过,并宜避开下列地段:

- 一、抽取地下水可能形成的最大下降漏斗范围。
- 二、地表水位与地下水位变化幅度较大的地段。
- 三、多元土层结构地段。

第 2.1.3 条 峰林谷地、峰丛洼地及溶丘洼地区,线路宜选择在下列位置:

- 一、线路靠山,并且高程高于岩溶水的最高洪水位。
- 二、线路避开垭口中心,选在地质条件较好的一侧通过。

第 2.1.4 条 位于洼地、谷地和岩溶平原中的线路,宜采用石质路堤的形式。受岩溶水危害时,宜以桥跨越。

第 2.1.5 条 越岭线宜在地下分水岭通过,平面位置宜在岩溶负地形* 之间,高程宜在垂直渗流带中,无条件时也可在深部缓流带,不宜在水平迳流带中。

第 2.1.6 条 河谷线宜选择在下列位置:

* 岩溶负地形指低于地表的岩溶地貌形态,如洼地、落水洞等,它是相对于岩溶正地形(如峰林、峰丛)而言。负地形之间的地带,并非都是正地形。

一、位于岩溶发育较弱的一岸。

二、位于高阶地上。

三、位于负地形之间及垂直渗流带中。

四、以河谷为排泄区的岩溶地段,线路宜位于岩溶安全带中。

五、由早期河流侧蚀作用造成,现存留在谷坡上的无水溶洞群地带,线路宜向山里靠。

第 2.1.7 条 当隧道位于水平流动带及深部缓流带中,宜采用“人”字坡。平行导坑的设置宜位于隧道迎地下水来向的一侧。

第二节 新建铁路踏勘(草测)岩溶工程地质勘测

第 2.2.1 条 踏勘(草测)岩溶工程地质勘测应完成下列任务:了解影响线路方案的岩溶工程地质问题,为编制可行性研究报告,提供岩溶地质资料。

第 2.2.2 条 踏勘(草测)岩溶工程地质勘测应包括下列内容:

一、搜集线路通过地区的区域地质、地貌、气象、卫星图象及航空象片等资料。

二、通过航片判释和踏勘了解岩溶区地层、岩性、构造、地貌、岩溶发育特征及其与线路方案的关系。

第 2.2.3 条 踏勘(草测)资料编制,应符合下列要求:

一、在工程地质总说明书中阐述控制线路方案的岩溶发育地段的特征,评价其对方案的影响,并对初测工作的重点提出建议。

二、在 1:50 000~1:200 000 全线工程地质图中,对控制线路方案的岩溶发育地段,用文字或图表简要说明可溶岩与非可溶岩的组合形式及岩溶发育特征。

第三节 新建铁路初测岩溶工程地质勘测

第 2.3.1 条 初测岩溶工程地质勘测应完成下列任务:查明线路各方案岩溶分布的情况、发育规律和特征,为选择线路方案及初步设计提供岩溶地质资料。

第 2.3.2 条 初测岩溶工程地质勘测应查明下列情况：

- 一、地貌、地层、岩性、地质构造特征。
- 二、岩溶水文地质特征。
- 三、岩溶发育与分布的一般规律。
- 四、岩溶区产生地面塌陷的可能性。

第 2.3.3 条 对卫星图象、航空象片进行室内判释,应符合下列要求：

- 一、判明岩溶区地貌、地层、岩性、地质构造的分布特征。
- 二、判明岩溶区漏斗、落水洞、洼地、泉、暗河进出口等的分布位置。
- 三、判明岩溶发育与阶地、剥夷面的关系,划分岩溶地貌单元。

第 2.3.4 条 初测岩溶工程地质测绘应符合下列要求：

一、岩溶地质复杂的工点及影响线路方案的地段,应进行区域地质测绘,精度应符合比例尺 **1:10 000~1:50 000** 工程地质图的要求。

二、**1:2 000** 工程地质测绘中,在裸露型岩溶区,与线路有关的岩溶点* 应使用仪器测绘,远离线路的岩溶点宜用半仪器法测绘;在半覆盖型或覆盖型岩溶区,图幅范围内的岩溶点均应使用仪器测绘。

三、在勘测范围内应作岩溶形态调查,与线路有关的岩溶点应作观测点或填写岩溶调查卡片。凡人能进入的洞穴,应进洞实测。

第 2.3.5 条 应查明与线路有关的暗河、岩溶泉流量的动态变化及补给、迳流、排泄特征,并作连通试验。

第 2.3.6 条 初测勘探工作的重点应放在控制线路方案的岩溶发育地段及重大工点上。

第 2.3.7 条 特大桥、高桥、岩溶地质复杂的大中桥应进行控制性勘探。地形条件适宜时,应使用物探。每一工点控制性钻孔不应少于 **2** 孔。孔深宜深入基岩下 **10m**,必要时应钻至当地侵蚀

* 岩溶点:是指溶洞、暗河进出口、岩溶泉(井)、竖井、漏斗、洼地等。

基准面高程。

第 2.3.8 条 对岩溶地质复杂的隧道和长 3km 及 3km 以上的隧道,应作下列工作:

一、区域地质测绘;

1. 长 3km 及 3km 以上隧道地区,应利用卫星图象及航空象片了解区域地质、地貌、岩溶形态、岩溶富水构造等。

2. 区域地质测绘范围的确定应以查明测区地层、地质构造及岩溶发育规律,满足隧道方案的比选为目的,宜包括岩溶水的补给边界或隔水边界。

二、控制性钻探,应以查明岩溶水的贮水构造、断层破碎带、岩体溶蚀程度为主要目的。孔深宜根据路肩设计高程、岩溶发育深度、岩溶排水基准面高程等确定。

第 2.3.9 条 初测试验工作应包括下列内容:

一、地表水、地下水的水质分析和水的侵蚀性试验。

二、取代表性地层不同层位的碳酸盐岩岩样,作镜下鉴定及化学成分分析。

三、在覆盖型岩溶地面塌陷地段,应取土样作物理力学性质试验及化学成分分析。

第 2.3.10 条 初测资料编制,应符合下列要求:

一、在全线地质综合资料中编入岩溶内容。此外,应根据情况补充下列专题图件:

1. 控制线路方案的岩溶复杂地段,编制区域岩溶工程地质图(比例尺 1:10 000~1:50 000)及纵、横断面图。

2. 测区内岩溶洞穴、暗河实测平面图及纵、横断面图,比例尺视具体情况确定。

二、列为初步设计的岩溶工点,应包括下列内容及图件:

1. 岩溶工点工程地质说明,内容包括:

(1)岩溶发育的地质、地貌、气象条件。

(2)岩溶发育的一般规律。

(3)岩溶水文地质特征。

(4)工点工程地质条件评价及线路通过位置的建议。

2. 岩溶工程地质图(比例尺 1:2 000),岩溶复杂时作,内容包括:

(1)划分岩溶层组类型。

(2)主要岩溶点的位置。

(3)结合地貌、岩性、地质构造、岩溶形态及岩溶点数目,对岩溶发育程度及其危害性进行分区,并附表说明分区原则及各区特征。

3. 岩溶工程地质纵、横断面图,内容包括:

(1)地层、岩性及构造形态。

(2)洞穴位置、地下水位高程。

(3)划分岩溶发育带。

第四节 新建铁路定测岩溶工程地质勘测

第 2.4.1 条 定测岩溶工程地质勘测应完成下列任务:详细查明采用方案沿线的岩溶分布、发育规律及特征,确定线路具体位置,为工程设计提供岩溶地质资料。

第 2.4.2 条 定测岩溶工程地质测绘、勘探、试验的重点应放在工点上。

第 2.4.3 条 对线路附近的溶洞、暗河、竖井等岩溶形态,初测时未进行实测的应补测,作过实测的应重点核对与建筑物有关的部分。

第 2.4.4 条 在工程地质测绘的基础上,应以物探与钻探相结合,查明建筑物附近及其应力影响范围内的岩溶裂隙、空洞的大小、高程及充填物性质。

第 2.4.5 条 为查明各类建筑物地基的稳定性,勘探方法的选择、勘探数量及深度应符合下列要求:

一、路基、站场、房屋建筑:在裸露型及半覆盖型岩溶区,宜使用钎探、挖探或钻探。在覆盖层较厚的地区宜用钻探或物探方法,查明基底岩溶洞穴的分布。

二、隧道：对不同的含水层段及断裂破碎带应布置代表性钻孔，查明岩溶洞穴及岩溶水，并宜对孔内进行物探、水文地质试验和地下水动态观测。

三、桥基勘探应根据桥式布置及基础类型确定勘探数量：

1. 岩溶复杂地段的桥基勘探应不少于二次。

2. 特大、大、中、小桥的明挖基础，应在基础中心布一孔。高桥的明挖基础，应在基础的任一对角线上布置 2 孔。若发现有溶洞，是否增加钻孔，应专门研究。

3. 沉井基础每墩宜布置 4 孔，若溶蚀严重，基岩面参差不齐，则应增加钻孔。

4. 柱桩基础宜每桩一孔，摩擦桩基础每墩、台不宜少于 2 孔。

四、钻孔深度宜至线路设计标高或建筑物基础以下 10m，桩基础宜至桩尖下 10m，在此深度内遇溶洞时，钻孔深度的确定，应结合工程措施，专门研究。

第 2.4.6 条 在岩溶发育地段为查明岩溶洞穴及岩溶含水层位置，宜在孔内作综合测井、电磁波透视、跨孔声波测试。

第 2.4.7 条 当建筑物基础下和建筑物影响范围内，在洞穴并且人能进入者，应搜集下列资料：

一、洞穴顶板节理、裂隙的分布及弃填、胶结程度，洞顶板岩层产状，单层厚度，洞顶、洞底、洞壁完整程度。

二、洞穴的形态尺寸，建筑物跨越洞穴的宽度，洞顶板至建筑物基底之间的岩层厚度。

三、洞内有无沉积物，有无积水痕迹，有无搬运能力。

四、如顶板较薄，需作检算时，应取样作岩石密度、弹性模量、泊松比和抗拉、抗压强度试验。

第 2.4.8 条 对岩溶进行工程处理的原则及措施，见本规则附录二。

第 2.4.9 条 定测资料编制，除在全线地质综合资料中编入岩溶内容外，工点资料应包括下列内容：

一、编写岩溶工点工程地质说明，除满足工点工程地质说明的

一般要求外,还应补充下列内容:

1. 岩溶发育的地质、地貌、气象条件。
2. 岩溶发育特征及一般规律。
3. 工点岩溶工程地质条件评价。
4. 工程处理措施意见。

二、岩溶复杂时,单独编制 1:500~1:2 000 工点岩溶工程地质图及纵、横断面图。

三、提供各类建筑物设计所需要的洞穴、岩溶水点的位置及简要说明。

四、提供洞穴顶板稳定性评价所需要的调查、测试资料。

五、提供隧道排水设计所需要的涌水量资料。

第五节 改建既有线及增建第二线岩溶工程地质勘测。

第 2.5.1 条 应充分利用既有铁路在勘测设计、施工及运营期间积累的岩溶地质资料,利用已有的防治措施。

第 2.5.2 条 应调查岩溶区既有铁路建筑物的稳定状态、变形情况、工程处理措施。

第 2.5.3 条 增建第二线并肩、平行地段,应根据岩溶工程地质和水文地质条件,选择线路左、右侧的位置。

第三章 施工阶段岩溶工程地质工作

第 3.0.1 条 施工岩溶工程地质工作应完成下列任务：

- 一、对岩溶复杂地段进行复查。
- 二、解决施工中揭露的岩溶问题。
- 三、提供变更设计所需要的岩溶地质资料。

第 3.0.2 条 施工岩溶工程地质工作应包括下列内容：

一、对施工中可能遇到岩溶突水、突泥、突砂的地段，应采用超前钻探、地震波、声波探测等方法加强预报。

二、施工中揭露的溶洞、暗河等应搜集详细的资料，在未查明情况前，不应随意爆破或用弃碴填塞。

三、施工中揭露的岩溶水，应观测其流量大小及变幅，追溯来源，必要时作连通试验。岩溶水与圬工有关时，应取水样作侵蚀性分析。

四、施工时产生突水、突泥引起地面塌陷及变形的地段，应进行观测、监视，提出处理措施。

五、对路基附近的落水洞、暗河进出口、岩溶泉的排水通道，不宜随意封堵。

六、施工过程中，应对岩溶发育地段的隧道基底、路堑堑底进行复查，了解有无洞穴及溶隙存在。

第 3.0.3 条 编制竣工资料，应包括下列内容：

一、竣工工程地质说明应补充下列内容：

- 1. 岩溶洞穴的分布、规模。
- 2. 突水、突泥的里程、日期、突水量。
- 3. 对施工造成的危害，工程处理措施及效果。
- 4. 运营期间应注意的问题。

二、修正后的溶洞平面图及纵、横断面图。

三、编制施工中揭露的溶洞的平面图及纵、横断面图。

第四章 运营期间岩溶工程地质工作

第 4.0.1 条 运营期间应对建筑物附近的洞穴、暗河及人工排水建筑物进行检查,观察其有无危及建筑物的变化并提出防范措施。

第 4.0.2 条 对铁路沿线的岩溶洞穴和塌陷,处理后除进行履历登记外,应设固定标志以备查。

第 4.0.3 条 在覆盖型岩溶区,抽取岩溶地下水时,应符合下列规定:

- 一、严禁在铁路用地范围内打井,取用岩溶水。
- 二、铁路沿线已有的抽水井,应限制抽水量、降深,并进行监测。
- 三、拟在铁路沿线新增抽水井者,应与铁路主管部门取得联系,有争执时,应向当地政府反映仲裁。

第五章 岩溶地质调查与测绘

第一节 准备工作

第 5.1.1 条 勘测工作开始时,应根据任务书的要求,搜集沿线岩溶区的下列资料:

一、区域地质、地貌、第四纪地质、水文地质及岩溶资料。

二、1:50 000 地形图和 1:200 000 区域水文地质图以及其它比例尺的地质图。

三、1:8 000~1:50 000 的卫星图象与航空象片。

四、邻近地区的气象、水文资料。

第二节 地层、岩性与地质构造调查

第 5.2.1 条 应调查可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系,可溶岩地层时代、岩性成分、结晶程度、层厚、产状及溶蚀、风化程度等。

第 5.2.2 条 对碳酸盐类岩石中所含杂质,如燧石结核、黄铁矿、沥青质、石膏等应进行描述和鉴定。

第 5.2.3 条 对碳酸盐类岩层中的非碳酸盐岩夹层,应描述其厚度、岩性、产状、分布层位及工程地质特征。

第 5.2.4 条 对岩溶区的断裂构造应着重调查下列内容:

一、断裂的力学性质、产状。

二、断裂带的破碎程度、宽度、胶结程度,阻水与导水条件。

三、断层交接部位、断裂延伸方向与岩溶发育的关系。

第 5.2.5 条 对岩溶区的褶曲构造应着重调查下列内容:

一、褶曲轴部的倾伏端、仰起端等转折部位的特征与岩溶发育的关系。

二、褶曲各部位的节理、裂隙性质及岩体破碎程度。

三、沿褶曲轴延伸方向的岩溶发育规律。

第三节 地貌与洞穴调查

第 5.3.1 条 应着重调查河谷至分水岭间岩溶发育的平面分布特征,溶洞层的分布与河流阶地、剥夷面的关系。

第 5.3.2 条 对正地形应调查下列内容:

- 一、绝对高度与相对高度。
- 二、岩层层厚、产状与溶蚀程度。
- 三、垭口形态与特征。
- 四、丘、峰排列特征。

第 5.3.3 条 对负地形应调查下列内容:

一、封闭洼地、串球状洼地、干谷等应调查其排列方向、高程、分布范围、覆盖层性质与厚度,以及洼地、干谷的高程从分水岭向排泄区递减分布的规律。

二、竖井、漏斗、落水洞等应调查其分布位置、高程、形态尺寸,所在层位与岩性特征、节理裂隙发育程度,地貌单元,周围水系和沟谷的变迁与沉积物成份。

三、岩溶盆地应调查其分布范围、水系发育特征,岩溶盆地边缘暗河、岩溶泉的出露位置,落水洞的消水特征,覆盖层性质、厚度等。

第 5.3.4 条 应调查分析下列情况,判断与铁路工程有关的近代岩溶基准面的存在形式与高程:

- 一、可溶岩地层的底板与高程。
- 二、裸露型岩溶区河流的最枯水位或高悬于河面以上的暗河或岩溶泉的高程。
- 三、单侧或两侧为非可溶岩的分水岭地区,流经可溶岩中的河流或暗河、岩溶泉及其高程。
- 四、覆盖型岩溶区,河水面以上的岩溶泉的高程。
- 五、海平面。

第 5.3.5 条 溶洞、竖井、漏斗、洼地、落水洞、塌陷、岩溶泉、

暗河等,应作观测点或填调查卡片,在现场应使用油漆编号。

第 5.3.8 条 与线路有关的洞穴、竖井、暗河等,凡人能进入的,应进行洞内调查测绘。其内容应包括:

一、洞口位置,洞底高程,所在层位岩性和地质构造特征,洞壁完整性及稳定程度。

二、洞穴的规模、层数及延伸变化。

三、洞内地下水枯、洪水位的调查并实测流量。

四、洞内充填情况,化学沉积物、机械堆积物的物理力学性质及化学成分等。

五、实测及绘制线路附近的洞穴平面图和代表性的纵、横断面图,并附简要说明。

六、远离线路的洞穴,调查后可列表及附简要说明。

第四节 水文地质调查

第 5.4.1 条 应调查岩溶地层的富水程度,圈定贮水构造的范围。

第 5.4.2 条 岩溶水点的调查(包括岩溶泉、落水洞、暗河、潭湖等),应包括下列内容:

一、所在地层层位、岩性,地貌及地质构造特征。

二、岩溶水出露的形式。

三、水点的高程、水位、埋深、水深、流量以及变幅,观察洪水痕迹。

四、水的物理性质,如颜色、气味、味道、透明度等并记录水温、洞温、气温。

五、采取代表性水样进行水质分析。

六、绘水点示意图,必要时进行素描或摄影。

第 5.4.3 条 岩溶地层中的钻孔及水井应查明下列情况:

一、所在位置、高程、深度。

二、出水层位、岩性特征、含水层厚度。

三、潜水位或承压水位高程。

四、钻孔、井结构。

五、日取水量、水位降深值。

六、井水泥砂含量及变化情况。

七、井(孔)周塌陷史。

第 5.4.4 条 对突水的人工坑道和洞室应搜集下列资料：

一、突水位置、高程、突水口形态。

二、突水地层、岩性、突水量、持续时间、疏干范围。

三、人工坑道和洞室施工方法。

四、突水与大气降水、地表水之间的关系。

五、突水后是否引起地面塌陷。

第 5.4.5 条 岩溶区补给、迳流、排泄条件的调查应包括下列内容：

一、岩溶水的补给来源、补给范围，覆盖层、植被、地形对降雨入渗的影响，地表、地下分水岭位置。

二、岩溶含水层性质、水位埋藏深度，较集中的岩溶水流的分布范围，含水层与上覆及下伏非碳酸盐岩地层的水力联系，地下水的流速、流向、水力坡度等。

三、岩溶区的汇水面积与集水面积。

四、岩溶含水层的排泄方式，排泄带位置及水量随季节变化的特征。

五、岩溶水与地表水之间的相互转化关系。

第 5.4.6 条 为确定地下分水岭的位置，应对地表分水岭两侧的暗河、竖井、钻孔水位进行调查。

第五节 岩溶地面塌陷调查

第 5.5.1 条 应查明覆盖层成因、分布范围、性质、厚度等。

第 5.5.2 条 应查明地下水补给来源、埋藏深度，各含水层间的水力联系，地下水开采量、开采方式，岩溶地面塌陷与地表水、地下水水位升降之间的关系。

第 5.5.3 条 列为重点整治的岩溶地面塌陷工点，应查明地

第六章 岩溶的勘探工作

第一节 一般规定

第 8.1.1 条 为查明洞穴的空间分布,应广泛采用物探方法。在物探的基础上布置钻探,必要时钻探后再作孔内物探,做到相互补充、验证。

第 8.1.2 条 岩溶区勘探点、线的布置应根据测区的研究程度、探测对象、勘测阶段、工程类型、建筑物具体位置和设计要求的综合考虑。

第二节 物 探

第 8.2.1 条 可用电测深、电剖面、地震、电磁波透视、跨孔声波等方法,查明下列岩溶问题:

- 一、岩溶区覆盖层厚度,岩溶地层的顶、底板埋藏深度。
- 二、较大岩溶洞穴、暗河通道的分布及深度。
- 三、圈定岩溶地层的富水地段。

第 8.2.2 条 为追索暗河通道和测定地下水流速、流向,可用充电法、联合剖面法及自然电场法。

第 8.2.3 条 在钻孔中为划分地层岩性、含水层厚度、溶洞的位置和充填物的厚度、性质等,可用综合测井法。

第 8.2.4 条 当岩溶洞穴埋藏深度大于洞穴直径数倍,用地面物探不易发现和确定其空间位置时,宜采用孔内电磁波透视法。

第三节 钻 探

第 8.3.1 条 岩溶区钻孔的数目、孔距、孔径、孔深、钻进方法、护壁方法及材料等,应考虑工程地质、水文地质、物探测井和电磁波透视及地下水动态观测等的要求。

第六章 岩溶的勘探工作

第一节 一般规定

第 8.1.1 条 为查明洞穴的空间分布,应广泛采用物探方法。在物探的基础上布置钻探,必要时钻探后再作孔内物探,做到相互补充、验证。

第 8.1.2 条 岩溶区勘探点、线的布置应根据测区的研究程度、探测对象、勘测阶段、工程类型、建筑物具体位置和设计要求的综合考虑。

第二节 物 探

第 8.2.1 条 可用电测深、电剖面、地震、电磁波透视、跨孔声波等方法,查明下列岩溶问题:

- 一、岩溶区覆盖层厚度,岩溶地层的顶、底板埋藏深度。
- 二、较大岩溶洞穴、暗河通道的分布及深度。
- 三、圈定岩溶地层的富水地段。

第 8.2.2 条 为追索暗河通道和测定地下水流速、流向,可用充电法、联合剖面法及自然电场法。

第 8.2.3 条 在钻孔中为划分地层岩性、含水层厚度、溶洞的位置和充填物的厚度、性质等,可用综合测井法。

第 8.2.4 条 当岩溶洞穴埋藏深度大于洞穴直径数倍,用地面物探不易发现和确定其空间位置时,宜采用孔内电磁波透视法。

第三节 钻 探

第 8.3.1 条 岩溶区钻孔的数目、孔距、孔径、孔深、钻进方法、护壁方法及材料等,应考虑工程地质、水文地质、物探测井和电磁波透视及地下水动态观测等的要求。

第 8.3.2 条 钻孔资料的编录除符合一般工程地质孔的要求外,在钻进过程中,还应记录下列内容:

一、钻进过程中,钻具自然下落和自然减压的起止深度及状况。

二、遇空洞时所发出的隆隆声,遇溶隙或破碎岩层时的孔内掉块、钻具跳动等的起止深度。

三、钻进过程中,冲洗液变化情况,孔内漏水、涌水和水色突然变化的起止深度。

四、测定钻孔岩心岩溶率。

第 8.3.3 条 钻孔岩心采取率应符合下列要求:完整灰岩大于 70%,破碎带大于 30%,溶洞充填物大于 50%(软塑及流动体除外)。

第 8.3.4 条 岩溶区的钻探工作,除按铁道部现行的《铁路地质钻探技术规则》执行外,还宜采用下列措施:

一、为防止钻穿溶洞顶板时岩心脱落,宜用卡簧或爪簧取心钻具。

二、在溶蚀破碎地层及溶洞充填物中钻进,为保持孔壁的稳定,提高钻进效率,宜使用双层岩心管钻具及无泵钻具。

三、为探测土洞及溶洞充填物的物理力学状况,土层中应采用干钻。

第四节 挖探与轻型勘探

第 8.4.1 条 为揭露浅层溶洞,可使用挖探。挖探工作宜在物探查明的异常带处进行。清除表土厚度不宜超过 2m,大于此厚度,应视情况加固或改用钻探。

第 8.4.2 条 当建筑物基础置于土层上,为揭露隐伏土洞,可用轻型勘探进行密集探查。

第七章 岩溶试验与动态观测

第一节 连通试验

第 7.1.1 条 在调查测绘的基础上,宜选择可能与铁路有关的暗河、天窗、竖井、落水洞等做连通试验。

第 7.1.2 条 连通试验宜选择下列方法:浮标法、粒子法、化学试剂法、染色法、水位传递法、放射性同位素示踪、地质炸弹示踪及微型电波发射机等方法。为查明无水洞穴多层次之间的连通情况,在保证安全的情况下,可用烟熏、水灌、放烟幕弹等方法。

第 7.1.3 条 当进行地下水流速测验时,连通试验宜采用化学试剂法、染色法、同位素示踪及物探充电法等。

第 7.1.4 条 连通试验宜在丰水或平水季节进行。必要时,两个季节都作。

第 7.1.5 条 连通试验过程中,应搜集下列资料:

- 一、示踪物的投放点、接收点的位置、高程、地下水流量。
- 二、投放示踪物的时间、种类、数量。
- 三、收到示踪物的时间、种类、数量或浓度。
- 四、接收及检测示踪物的方法。

第 7.1.6 条 连通试验结束后应编制试验报告,分析试验成果,计算地下水流速、流向等。

第二节 水样、土样和岩样试验

第 7.2.1 条 岩溶区地表水、地下水水质分析,除一般项目外,应作游离 CO_2 和侵蚀性 CO_2 含量分析。

第 7.2.2 条 在覆盖型岩溶地区,对覆盖层土样应进行下列项目试验:

- 一、颗粒分析、密度、比重、孔隙比、孔隙度、含水量、给水度、压

缩系数、膨胀力、膨胀量、渗透系数、抗剪强度等。

二、土壤的矿物与化学成分分析。

第 7.2.3 条 宜对碳酸盐岩的代表性岩样进行孔隙度、比重、吸水率、抗压强度、抗剪强度试验。必要时选作镜下鉴定、化学分析和溶蚀试验。对泥灰岩宜增加软化系数试验。

第 7.2.4 条 对溶洞充填物,必要时应取样作物理力学性质分析和粘土矿物分析。

第三节 水文地质动态观测

第 7.3.1 条 岩溶水文地质情况复杂的隧道,为求得水文地质参数,在勘测过程中,应尽早选点布置动态观测,观测时间不应少于一个雨季,必要时应延长至施工结束。

第 7.3.2 条 应充分利用井、泉、暗河、天窗、钻孔及铁路工程附近的地表水体、积水洼地等进行观测。

第 7.3.3 条 动态观测的内容及方法宜符合下列要求:

一、水位

1. 井、钻孔、地表水及洼地的水位观测,宜在同一时间测量。

2. 旱季 3~5 日一次,雨季每日一次,近河地表水点,应增加观测次数。

3. 井孔深度每月测量一次。

4. 消水洼地内立标尺,雨季宜逐日观测。

二、流量

1. 泉、暗河、河床流量的观测,宜根据流量大小,分别采用堰、量水槽、溢流坝及流速断面法等。

2. 测量时间与水位观测同步。

3. 对断面复杂、流量变化大的暗河通道,宜选在廊道式的通道中并有跌水处,建立固定堰或量水槽进行观测。

三、气象

1. 远离气象台、站以及地形高差甚大的地区,在进行岩溶水动态观测的同时,宜自建简易气象观测站,逐日观测降雨、蒸发、气

温等资料。

2. 气象观测站应设在动态观测点附近平坦、开阔的地方。

第 7.3.4 条 应将动态观测资料整理成下列图表：

一、水位、时间关系图。

二、流量、时间关系图。

三、水位、降雨、蒸发、气温与时间关系图。

第八章 岩溶水文地质参数计算

第一节 参数计算

第 8.1.1 条 计算岩溶地下水水量时,应提供下列参数:降雨入渗系数 α 、贮水系数 S (潜水含水层为给水度 μ)、导水系数 T 、渗透系数 K 等。

第 8.1.2 条 降雨入渗系数 α ,可利用井、泉、钻孔及地表迳流观测资料及气象观测资料计算求得。

一、当潜水含水层埋藏浅、无排泄、无开采时,地下水位的升降受降雨影响时,可按(8.1.2—1)式计算:

$$\alpha = \mu(k_{\max} - k \pm \Delta k \cdot t) / x \quad (8.1.2-1)$$

式中 μ ——给水度;

k_{\max} ——降雨后钻孔中的最大水柱高度(m);

Δk ——临近降雨前地下水位天然平均升(降)速度(m/d);

k ——降雨前钻孔中的水柱高(m);

t ——水位从 k 变到 k_{\max} 的时间(d);

x —— t 日内降雨总量(m)。

二、当有该区的日降雨量 X ,地表日迳流量 Y ,日蒸发量 Z 时,可按(8.1.2—2)式求降雨入渗系数:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (8.1.2-2)$$

式中 $M_i = X_i - Y_i - Z_i$

X_i —— i 次日降雨量(m);

Y_i —— i 次地表日迳流量(m);

Z_i —— i 次日蒸发量(m)。

第 8.1.3 条 导水系数和贮水系数,宜用下列方法计算:

一、用非稳定流抽水试验资料计算导水系数和贮水系数,(或给水度);

二、在同一含水层中,当上游钻孔水位与下游泉流量相关时,可利用钻孔水位与泉流量的动态观测曲线计算 T 、 S 。

1. 导水系数

$$T = \frac{0.183 Q}{C} \quad (8.1.3-1)$$

式中 T ——导水系数(m^2/d);

Q ——观测时段内泉的平均流量(m^3/d);

$C = \frac{-2.30 Q}{2\pi T}$ 可用 $H \sim 1gt$

曲线图求解,见图 8.1.3,

图中直线斜率为 C 。

H ——钻孔水位(m)。

2. 贮水系数

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

(8.1.3-2)

式中 S ——贮水系数;

t_0 ——在 $H \sim 1gt$ 曲线图中,延长直线与 $1gt$ 轴的交点(d);

r ——钻孔至泉的距离(m)。

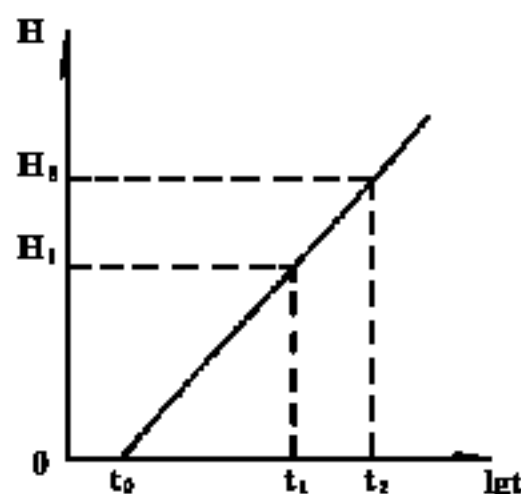


图 8.1.3 $H \sim 1gt$ 曲线图

3. 给水度:除用非稳定流抽水试验资料计算外,还可以测定的岩溶率近似代替该值。

第 8.1.4 条 渗透系数 K ,可通过抽水试验或压水试验的资料计算。

第二节 隧道涌水量的评估方法

第 8.2.1 条 岩溶区隧道涌水量评估,应根据水文地质条件,有针对性地采用计算方法。

第 8.2.2 条 洼地渗入量法:当隧道位于垂直渗流带时,宜选

择与隧道有直接关系的消水洼地或落水洞等,圈定其集水面积,据降雨、蒸发资料及洼地消水速度,估算洼地渗入量及隧道涌水量。

第 8.2.3 条 水均衡原理动态观测法:当隧道位于水平流动带及深部缓流带时,根据水文地质试验及动态观测资料,可用(8.2.3)式估算隧道涌水量。

$$Q = \alpha \cdot F \cdot X \cdot \eta \quad (8.2.3)$$

式中 Q ——隧道涌水量(m^3/d);

F ——集水面积* (m^2);

X ——根据钻孔水位与降雨量关系曲线,取最大降雨入渗时的日降雨量值;

η ——滞后系数,从动态观测曲线上确定的水位或流量洪峰,滞后于降雨时间的倒数 $\eta = \frac{1}{t}$;

t ——滞后时间,不足一日以一日计(d)。

第 8.2.4 条 地下水动力学法:当隧道位于深部缓流带或位于裂隙状岩溶含水层,具有统一水位时,据水文地质试验与动态观测求得的各项参数,可按水平集水建筑物的水量计算公式,结合岩性、构造分段计算涌水量。

第 8.2.5 条 水文地质比拟法:包括涌水量及参数(α 、 μ 、 K 等)的比拟,可用于岩溶垂直分带的各带中。但此法必须建立在已有坑道、洞室实际涌水量资料的基础上,对相邻的岩溶水文地质条件又极相似的隧道,才能进行比拟。

* 集水面积:是指根据地形、地质条件圈定的与隧道有关的汇集地下水的平面范围。

附录一 本规则名词解释

本规则名词解释

附表 1

| 名 词 | 说 明 |
|----------------|--|
| 岩 溶 | 水对可溶性岩石(碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤素岩等)进行以化学溶蚀作用为主,以流水的冲蚀、潜蚀和崩塌作用为次的地质作用,以及由这些作用所产生的现象的总称。 |
| 岩溶基准面 | 岩溶作用向地下深处所能达到的下限,一般是指可溶岩的底板。 |
| 裸露型岩溶 | 可溶岩绝大部分出露地表,上面缺少土被和植被,仅在漏斗、洼地内有薄层土覆盖。 |
| 覆盖型岩溶 | 可溶岩被第四纪松散堆积物所覆盖,岩石一般不出露于地表。覆盖层厚度小于 50m,在地面上常有塌陷漏斗或洼地,有时灰岩石牙出露于覆盖层之上。 |
| 埋藏型岩溶 | 可溶岩类岩层在上覆厚层已胶结的非可溶性岩层之下发育的岩溶。这种岩溶一般不反映于地表。 |
| 可溶性岩石 (可溶岩) | 能被水溶解的岩石,泛指碳酸盐岩、硫酸盐岩及卤素岩。 |
| 岩溶裂隙 (溶蚀裂隙) | 可溶性岩石被地表水沿节理裂隙溶蚀、侵蚀产生的槽状形态。 |
| 石 牙 | 溶蚀裂隙交错发育,其间残存的高度一般不超过 3m 的牙状岩体。 |
| 石 林 | 主要发育于产状平缓的厚层、巨厚层碳酸盐岩中。由大气降水及土壤水沿岩石的垂直节理裂隙溶蚀、侵蚀,将其分割形成林立的石柱,它们一定规模的组合体称为石林。 |
| 落水洞 | 沿裂隙溶蚀、侵蚀及塌陷而成的消泄地表水的,近于直立的或倾斜的洞穴。 |
| 竖 井 | 由落水洞进一步发育,或洞穴顶板塌陷而成的深数十米至数百米的垂向深井状通道。 |
| 漏 斗 | 可溶岩被地表水沿节理裂隙溶蚀或溶洞顶板塌陷而成的负地形,呈漏斗形、碟形,封闭状,底部平缓,面积较小。 |
| 岩溶洼地 (溶蚀洼地) | 底部平坦、面积较大、形态不规则的封闭状负地形。几个洼地进一步扩大合并而成合成洼地,并保留其底部不规则的形态。 |
| 岩溶盆地 | 有松散沉积物覆盖的大型岩溶洼地。 |
| 干 谷 | 岩溶地区由于河水进入地下排水系统,在地表遗留的干涸的或间歇性有水的河谷。 |

续附表 1

| 名 词 | 说 明 |
|------------------|---|
| 盲 谷 | 岩溶地区没有出口的地表河谷,其水流消失在河谷末端陡壁下的落水洞中而转为地下河。 |
| 峰 林 | 热带岩溶地形,分散或成群出现在平地上,并被平地分割的高耸林立的碳酸盐岩山峰。 |
| 峰 丛 | 热带岩溶地形,联座的高耸林立的碳酸盐岩山峰。 |
| 孤 峰 | 兀立在岩溶平原或盆地上的石峰。峰林地形的单体形态。 |
| 岩溶湖 | 大型封闭岩溶洼地中的较大常年积水体。 |
| 溶 洞 | 可溶岩经岩溶作用所形成的空洞的通称。 |
| 岩溶平原 | 岩溶地区大面积的近于水平的地面。 |
| 岩溶含水层 | 含地下水的岩溶化地层。 |
| 岩溶排水 基 准 面 | 岩溶含水层的最低排泄位置。一般指当地最低河、湖水面或海平面 |
| 垂直渗流带 (包气带) | 丰水期地下水位以上、大气降水或地表水受重力作用沿可溶岩的裂隙、孔洞作垂向运动的地带,此带水流一般不具有静水压力,并且不连续。 |
| 季节交替带 (季节变动带) | 指地下水位随季节变化而产生的最高与最低水位之间的地带,是垂直渗流带与饱水带之间的过渡带。 |
| 水平径流带 (饱水带) | 岩溶含水层最低水位以下的地带,水位常具有连续性和静水压力。浅饱水带为岩溶强烈发育带,深饱水带岩溶发育渐弱,逐渐向深部缓流带过渡。 |
| 深部缓流带 | 位于饱水带之下,受当地排水基准面影响很弱,仅在一定水头压力作用下向远方缓慢运动,是深部岩溶水带。 |
| 岩溶泉 | 岩溶水向地表流出的天然露头。 |
| 岩溶潭 | 在岩溶地区成坛状或井状,水深较大的天然地下水露头。 |
| 暗 河 (地下河) | 岩溶地下通道中具有河流主要特征的河道,它是地下径流的集中通道。 |
| 伏 流 | 地表河流在岩溶地区的管道状潜伏段。 |
| 地下湖 | 在天然洞穴中,具有开阔自由水面的比较平静的地下水体。 |
| 岩溶突水 | 贮存和运动于岩溶洞隙中的地下水流,当被人工揭露或其它因素影响而骤然产生大量涌水。常伴有涌泥、涌砂。 |
| 土洞 | 发育在可溶岩上覆土层中的洞穴,其形成条件为具有易被潜蚀、吸蚀的土,土下基岩中有岩溶洞穴、裂隙存在,在土与岩石间有频繁活动的地下水。 |

续附表 1

| 名 词 | 说 明 |
|---------|------------------------------------|
| 岩溶地面塌陷 | 开口岩溶洞隙与上覆土层中的水、气对盖层发生力学效应,导致的地面塌落。 |
| 完整溶洞顶板 | 溶洞顶板未被节理、裂隙切割,或虽被切割但胶结良好。 |
| 非完整溶洞顶板 | 溶洞顶板被节理、裂隙切割,胶结不良。 |

附录二 对岩溶进行工程处理的原则及措施

(一)岩溶水的处理

1. 处理原则

岩溶水情况复杂、难于查清并且危害较大时,对岩溶水的处理应符合下列原则:

(1)对水量的评价宁大勿小;

(2)排水建筑物宁宽勿窄;

(3)桥梁比涵洞好;

(4)一般情况下,疏导比堵塞好。当隧道中地下水的流失可能疏干地表和导致地面塌陷时,堵塞又较疏导有益。

2. 处理措施

(1)为疏干某一范围,可设置与水流方向垂直的截流盲沟、截水洞、截水墙等;

(2)当流量、流速较大,或可能淹没农田和铁路时,可设桥涵、泄水洞、明沟、管道等;

(3)为保持岩溶泉正常出水,或保持消水洞消水,或防止消水以及需要提高水位时,可采用围堰、围栏等措施;

(4)地下水量小而分散时,可用砂浆、粘土、化学浆压浆及浆砌片石堵塞。

(二)岩溶洞穴的处理

1. 为跨越空洞,可采用梁跨、拱跨及盖板等措施;

2. 为防止洞穴坍塌或加强洞穴顶板岩层的稳定性,可采用各种类型的桩、浆砌支柱、混凝土块、锚杆及回填等加固措施;

3. 在基础开挖过程中,基底遇石牙时,宜将石牙凿平或清除充填物后用圬工嵌补平整。

(三)岩溶洞穴堆积物的处理

当建筑场地有洞穴堆积物,可采用以下措施:

1. 堆积物不易清除时,可换填或风干,或采用桩基、浮筏式基础;
2. 对建筑物基础下的块石堆积及碳酸钙沉积物(如石笋、石钟乳、石柱等)宜爆破清除;
3. 对较厚的松散块石、碎石堆积物,宜采用压浆处理;
4. 对于粘性土、砂类土以及砂砾石、碎石等洞穴堆积物作地基,可用旋喷桩加固。

(四)岩溶地面塌陷的处理

1. 由于地下水位下降造成地面塌陷时,可采用恢复水位、钻孔充气、帷幕、隔板隔水等措施;
2. 由于雨水渗入土层造成地面塌陷时,可采用地面排水、封闭路基面、压浆等措施;
3. 由于河水位的涨落引起的地面塌陷,可采用封闭洞穴、加固基础等措施;
4. 无论何种因素引起的地面塌陷,可据具体情况分别采用碎石路堤、带洞路基墙或桩基栈桥、桥跨、扣轨梁、框架等工程结构,以及压浆、网格板垫层、强夯、旋喷桩、换填土壤等处理措施。

(五)岩溶洞穴顶板安全厚度的评价

建筑物位于岩溶洞穴之上,当溶洞顶板厚度符合下列条件时,可认为是安全的:

1. 对于完整溶洞顶板,其洞顶板厚度与溶洞最大跨度之比大于 0.5。
2. 对于非完整溶洞顶板,其洞顶板厚度大于溶洞高度的 5 倍。

附录五 本规则用词说明

执行本规则条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

1. 表示很严格,非这样作不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下均应这样作的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样作的用词:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

附加说明：

本规则主编单位和主要起草人名单

主 编 单 位:铁道部第二勘测设计院

主要起草人:张江华 陈国亮

《铁路工程地质岩溶勘测规则》

条 文 说 明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题,以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

第 1.0.3 条 本规则是依据《铁路工程地质技术规范》(TBJ12—85)(以下简称《地质规范》),针对岩溶工作作出的具体规定,在施行中应与《地质规范》配套使用。

本规则的编写除少数条文外,不重复叙述《地质规范》中的共性规定,因此它的内容并不面面俱到,而是力求突出“岩溶”这个主题。

规则第二~四章提出工程地质选线原则,以及各阶段岩溶工作的重点、项目、程度及工作量,与各阶段均有关的具体的工作及方法,集中列为后面几章及附录。

第 2.1.2 条 在覆盖型岩溶区,因覆盖层薄,自然拱作用差,较覆盖层厚的地区更易产生塌陷。

一、地下水降落漏斗范围内,水力坡度增大,水动力作用增强,易产生塌陷,威胁铁路建筑物的安全。新线勘测时,线路宜绕避。

第 2.1.3 条 二、垭口中心常是地层或构造薄弱地带,岩层破碎、岩溶易发育。在丘陵地区垭口下常是暗河通道,故宜避开。

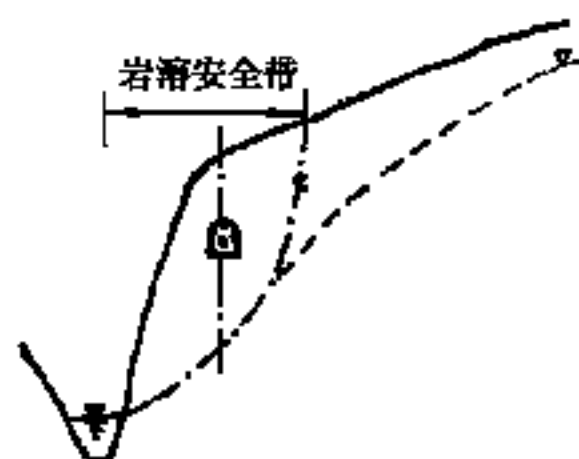
第 2.1.4 条 在洼地、谷地中,岩溶泉、落水洞、暗河等消水、堵塞变化无常,流量不易掌握,以桥跨越较涵洞安全。

第 2.1.5 条 地下分水岭地带,常是岩溶发育相对较弱的地带,地下水的危害小,线路在此范围内通过,相对较安全。垂直渗流带多竖井状洞穴,隧道穿越此带有悬空的可能,且雨季易受突然涌水、涌泥的危害;季节交替带和水平流动带岩溶水量较大,洞穴

侧向发育,常呈大厅,故宜避开;深部缓流带往往具有承压的孔隙、裂隙水,运动较缓慢,岩溶水的威胁小于季节交替带和水平流动带。

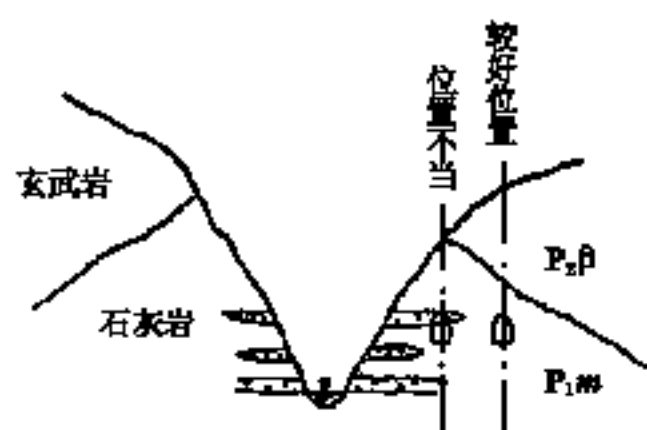
第 2.1.6 条 三、负地形之间及垂直渗流带是两个同时并存的条件。因为线路即使位于负地形之间,但若又位于水平流动带中,同样会受到水与洞穴的危害。

四、岩溶安全带是指河谷斜坡上岩溶水最低排泄点(或河谷水边线)与山顶面靠河谷最外侧的洼地、竖井、落水洞等垂直岩溶形态之间的地带。如说明图 2.1.6—1 所示。岩溶水能从斜坡上排泄出来,需要地壳有一个相对稳定时期,这一时期,形成一小段缓坡或水平的洞穴。此缓坡段以上的岩体内不可能发育岩溶大厅,也不会出现大量岩溶水。在某些地段因地壳间歇上升,斜坡上可能残存悬挂一些小型干溶洞,对铁路工程不构成危害。故称此带为岩溶安全带。贵昆线三家寨~艾家坪线路,即按此原则选择,实践证明效果较好,尔后在南昆线的河谷地区亦按此原则选择了羊寨隧道、王家幽隧道等较好的位置。



说明图 2.1.6—1

五、在河谷地带,除了因地下水由山体向河谷排泄而发育的溶洞外,还可能有由河流侧蚀作用造成的溶洞,后期河床下切,便存留在谷坡上成为干溶洞。其特点是两岸溶洞对称成层分布,无岩溶水排泄,溶洞的规模由岸向山逐渐减小。说明图 2.1.6—2 表示南昆线红岩河谷,长 5km 的范围内



说明图 2.1.6—2

说明图 2.1.6—2 表示南昆线红岩河谷,长 5km 的范围内

线路与岩溶的关系。

第 2.3.4 条 二、在 1:2000 工程地质测绘中,裸露型岩溶区地表岩溶点多,实测工作量大,为突出重点,只要求对线路附近的岩溶点用仪器实测,远离线路的岩溶点可用半仪器法测量。经分析或用连通试验证实,虽远离线路但与分析岩溶发育程度及岩溶水运动规律有关的岩溶点也应用仪器实测。而覆盖型或半覆盖型岩溶区,岩溶点相对于裸露型地区数量少得多,为了分析岩溶发育高程、延伸方向,岩溶水位标高、流向等,有必要对图幅范围内的岩溶点都进行实测。

第 2.3.10 条 二、1:2000 岩溶工程地质图中,岩溶层组类型可据岩性、成层特征等划分。据岩性可分为石灰岩、白云岩、石灰岩——白云岩过渡类和泥质或硅质碳酸盐类;据成层特征分为均质层、夹层、互层、间层等类。如此划分便于对一定地层单位作出岩溶发育条件的评价。

岩溶发育程度的分区,可据岩溶层组特征、岩溶发育密度(个/ km^2)、最大泉流量、钻孔岩溶率等进行三级(强、中、弱)或四级(极强、强、中、弱)划分。

第 2.4.4 条 在岩溶发育地段,应采用多种勘探方法,并以体积勘探为主。针对物探异常带,用少量的钻孔验证,能收到较好的效果。

第 2.4.5 条 三、岩溶复杂地段的桥基勘探应不少于二次。第一次是控制性的勘探,并与物探配合提供桥式位置;第二次应在墩台位上钻探,提供墩、台基础设计的勘探资料。在墩、台位的钻探过程中,如发现洞隙,墩台位置或基础类型需要改变时,则应进行第三次或第四次勘探。

四、钻探深度应结合工程类型确定:

一般路基、站场:为了解覆盖层下有无洞穴存在,孔深至线路设计标高以下 10 米即可;

隧道、房屋建筑、桥梁:宜考虑建筑物基底以下 10m,如果系桩基础宜在桩尖下 10m。

在上述深度内如遇溶洞,钻孔深度是否要增加,应根据溶洞的情况及准备采取的工程措施,进行专门研究。近几年的实践经验,在基底或桩尖下若遇溶洞,一般作压浆处理,若溶洞较大,可用粗颗粒填塞后,压浆或增加桩长,不再象以往那样,一味要求查明溶洞,结果增加大量的钻探工作量。

第 3.0.2 条 五、路基附近的落水洞、暗河进出口、岩溶泉等宜保持原状不宜堵塞,否则雨季由于消水不畅,积水可能淹没路基、冲毁道床。

六、对岩溶发育地段的隧道基底、路堑堑底,应在铺轨前用物探复查隐伏洞穴,并注意观察有无涌水、基底下沉、开裂等现象,发现上述问题,必要时应补充勘探,进行整治。

第 4.0.1 条 对建筑物附近的洞穴、岩溶水点进行定期检查,将其结果列入年检记录中,做为整治病害的依据,并验证处理措施的效果。

第 4.0.3 条 鉴于目前还不能提出一个合理的限制打井抽水的范围,又不能目睹铁路运输安全受到威胁,故首先在铁路用地范围(指路基两侧的用地)禁止打井抽水。对铁路沿线铁路用地范围外,已有抽水孔或新建抽水孔应进行监测,查明打井日期、降深、日抽水量,产生塌陷的时间与范围,对确实给铁路运输造成危害的,可据此资料作为分清责任与索赔的根据。

沈大线瓦房店及沪宁线岔路口因抽水引起铁路路基发生岩溶地面塌陷,危及行车安全,经铁路部门向地方政策申报后,由政策行文明确了责任,停止抽水、封堵矿坑,还责成辽宁省地质队免费为铁路作了勘探工作。可见此类问题在未立法之前,可以通过地方政府仲裁解决。

第 5.1.1 条 二、1:50 000 地形图上一般已注明泉点、岩溶洼地等,还可用于圈定汇水面积及绘制洼地分析图;在 1:200,000 区域水文地质图上可了解泉、暗河流量,水文勘探孔的试验资料及岩层富水程度等。

第 5.2.1 条 可溶岩类岩性和结晶程度的划分如下:

岩性:分为石灰岩类(包括白云质灰岩)、白云岩类(包括灰质白云岩)、硅质碳酸盐岩类和泥质碳酸盐岩类。

结晶程度:碳酸盐类矿物结晶大小影响溶蚀程度,结晶颗粒大者易溶蚀,反之则稍差。以粒径大小划分为粗晶质(直径大于1mm)、中晶质(直径为0.5~1mm)、细晶质(直径为0.1~0.5mm)和隐晶质或致密质(晶粒小于0.1mm)。

第5.3.1条 河谷至分水岭间岩溶发育程度,一般是自河谷向分水岭逐渐减弱,当其受新构造运动影响存在古岩溶时,也有例外,调查时应注意剥夷面上的古岩溶分布特征。

一个地区的多层溶洞有可能与河流多级阶地相对应(在高程上、时代上),这是指单一的碳酸盐岩中,经过暗河发育阶段及早期河流侧蚀作用造成的水平溶洞可以和阶地、剥夷面对应。岩层倾角平缓的碳酸盐岩与非碳酸盐岩互层或夹层的地区所形成的悬挂于河水面之上的水平溶洞则不与阶地或剥夷面对应。

第5.3.3条 负地形多,标志着岩溶发育。洼地、干谷、竖井、漏斗、落水洞、坡立谷等岩溶形态都反映了地表下岩溶洞穴的存在及岩溶水活动的规律。调查洼地、干谷、竖井、落水洞的排列方向及高程从分水岭向排泄区递减分布的趋势,是确定暗河存在的地面标志。

第5.3.4条 岩溶作用的下限通常称为岩溶基准面,一般指可溶岩底板、最枯潜水面、海平面、当地常年河流的河底等。但从人类土建工程实践的观点来看,在碳酸盐岩厚度很大,或因构造关系,可溶岩向下延伸很深的地区,溶蚀作用未达到溶蚀下限之前,尚未形成统一潜水面,将河流的最枯水位或高悬于河面之上的暗河或常年排泄的岩溶泉定为近代岩溶基准面是合适的。

全球或者在海岸附近地区,海平面是岩溶基准面,但在远离海岸并被非可溶岩分割包围的岩溶区,海平面制约岩溶发育深度的作用不显著,而起明显作用的是当地河流水面或河水面以上的常流泉。

在常年排水的河谷中,岩溶水出露点(或排泄面)有的高于河

水面,有的却低于河底,基准面位置应分段确定,以现有的岩溶水出露点高程为近代岩溶基准面。

以上所述的近代岩溶基准面是指岩溶作用的水平流动带的下限。

第 5.3.5 条 调查岩溶点,在现场应用油漆编号,便于测量和再利用,避免重复工作和减少查找岩溶点的困难。

第 5.3.8 条 与线路有关的洞穴、竖井、暗河等,凡人能进入的应进洞调查,人不能进入的竖井,可放入较大功率的防爆灯,在竖井口观测,必须搞清楚的洞穴,可爆破洞口进入或进行勘探。

第 5.4.4 条 对测区内突水的人工坑道及洞室,搜集突水资料是为坑道涌水及由此而引起的地面塌陷的可能性进行预测。

第 5.4.8 条 地下分水岭通常有下列几种情况:当地表分水岭地势较平坦,有较大渗入补给时,地下分水岭与地表分水岭基本一致;由于地质构造条件不同及岩溶发育不均一(在地表分水岭一侧强烈发育),常使地下分水岭与地形分水岭不一致;岩溶通道与暗河强烈发育的结果会使地下分水岭消失。确定地下分水岭的目的在于选择有利的线路位置和确定集水面积。

地下分水岭可根据下列资料判断:地形、地质构造、岩性、暗河进出口标高、主要泉点高程、地下水位及流向等。

第 5.5.5 条 对不同成因的塌陷,应采取不同的处理措施。对已进行工程处理的塌陷也应进行调查,了解其效果,可作为该段地面塌陷工程处理的借鉴。

第 5.5.8 条 为外业调查不致漏项和便于统计分析,调查时可按附录三、四表列各项进行。为对岩溶地面塌陷进行预测,附预测指标表供参考。

岩溶地面塌陷预测指标参考表 说明表 5.5.8

| 基本条件 | 主要影响因素 | 因 素 的 水 平 | 指 标 |
|------------------------|---------------|---------------|-----|
| 水—— 塌陷的动力 (40 分) | 水 位 (40 分) | 水位能在土岩界面上下波动 | 40 |
| | | 水位不能在土岩界面上下波动 | 20 |

续说明表 5.5.8

| 基本条件 | 主要影响因素 | 因 素 的 水 平 | 指 标 |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------|
| 覆盖层—— 塌陷物质 (30 分) | 土的性质与 土层结构 (20 分) | 粘性土 | 10 |
| | | 砂性土 | 20 |
| | | 风化砂页岩 | 10 |
| | | 多元结构 | 20 |
| | 土 层 厚 度 (10 分) | $\leq 10\text{m}$ | 10 |
| | | 11~20 | 7 |
| | | $>20\text{m}$ | 5 |
| 岩溶—— 塌陷与储 运条件 (30 分) | 地 貌 (15 分) | 平原、谷地、溶蚀洼地 | 15 |
| | | 谷坡、山丘等 | 5 |
| | 岩溶发育 程 度 (15 分) | 漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、 溶洞较多 | 10~15 |
| | | 漏斗、洼地、落水洞、溶槽、石牙、竖井、暗河、 溶洞稀少 | 5~9 |

说明:1. 90~100 极易塌陷;

71~89 易塌陷;

70 及以下不易塌陷;

2. 此预测指标系根据 90 个实例的模糊分析结果得到的。

3. 近期有塌陷发生者即属塌陷工点,指标为 100。

4. 地表雨水入渗致塌的地段,水指标为 40。

第 8.3.1 条 水文地质试验孔,要求揭露需要了解的含水层和使用清水钻进,终孔直径或试验段直径不小于 108mm;水文地质动态观测孔,深度应揭露主要含水层,孔径一般不小于 89mm;物探测井要求孔壁完整,终孔直径一般不小于 89mm;电磁波透视则要求孔深达到透视目的层,终孔直径一般不小于 89mm。故布孔或进行钻孔设计时,宜充分考虑钻孔的多种用途。

第 7.1.2 条 连通试验示踪物的选择应以不污染环境为条件,使用石松孢子作为示踪物时,分选石松孢子可用氯化锌重液,比过去常用的镉重液 П.Д—6 重液毒轻、价廉、制作方便。还可选用与水比重一致的微型塑料粒子作示踪物,着色粒子可多点投

放,多点接收。具有检验直观、省事、价廉、不污染等优点。

第 7.1.4 条 连通试验宜在丰水或平水季节进行,因流量较大时,便于携带示踪物,枯水期由于流量小,会影响试验效果而产生错误的判断。当某地区岩溶水运动方向变化复杂,洪水期与平水期流向不一致或有多层水流时,需要两个季节都做连通试验。

第 7.3.1 条 为提供隧道设计所需水文地质资料,动态观测时间一般不应少于一个水文年(其它规范也要求不少于一个水文年)。但因勘测周期短,并且提供的应是较大的涌水量,故本规则提出观测一个雨季为最低要求。如能在初测时开始观测,则可达到不少于一个水文年的要求。因此,动态观测宜在初测时开始进行。

第 8.1.2 条 二、利用日降雨量 X 、地表日迳流量 Y 、日蒸发量 Z ,求渗入系数的公式

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (\text{说明 } 8.1.2-1)$$

该式的各项意义及推导过程为:

渗入量与降雨量之比定义为渗入系数

$$\alpha = \frac{X - Y - Z}{X} \quad (\text{说明 } 8.1.2-2)$$

渗入量 $M = X - Y - Z$ (说明 8.1.2-3)

由上述两式可得

$$M = \alpha X \quad (\text{说明 } 8.1.2-4)$$

当有 n 组观测数据时,可根据上述关系式得到每组日降雨量 X_i 的渗入量 M_i ,此外,根据一元线性回归关系有:

$$M = M_0 + \alpha X$$

当 $X=0$ 时, $M=0$,因此 $M_0=0$,于是有关系式 $M=\alpha X$

根据 n 组观测资料可计算得到每组的日降雨量 X_i 、渗入量 M_i ,使观测资料与理论公式值得到最接近的最佳拟合,运用最小

二乘法原理,使

$$\delta = \sum_{i=1}^n (M_i - \alpha X_i)^2 = \delta_{\min} \text{最小。}$$

根据微分学求极值的方法,上式应满足下述方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta}{\partial \alpha} &= 2 \sum_{i=1}^n (M_i - \alpha X_i)(-X_i) \\ &= 2 \sum_{i=1}^n (-M_i X_i + \alpha X_i^2) = 0 \end{aligned}$$

于是可得

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (\text{说明 } 8.1.2-5)$$

这就是第八章第一节中的(8.1.2—2)式。

按统计学原理

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{说明 } 8.1.2-6)$$

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad (\text{说明 } 8.1.2-7)$$

相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}} \quad (\text{说明 } 8.1.2-8)$$

由赫尔德不等式:

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(M_i - \bar{M}) \\ &\leq \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \end{aligned}$$

因此相关系数 r 应满足

$$0.0 \leq \gamma \leq 1.0$$

γ 越接近于 1.0 则说明 M 与 X 的关系越密切。

第 8.2.2 条 当隧道位于垂直渗流带时是否涌水,决定于隧道是否遇到垂直发育的竖井、溶隙,故不能简单套用地下水动力学法及均衡法等公式计算,应根据隧道上方洼地汇水面积、降雨量、蒸发量、地表迳流量计算洼地入渗量,以洼地入渗量确定该段的涌水量值。

第 8.2.3 条 运用水均衡原理动态观测法,计算公式 $Q = \alpha \cdot F \cdot X \cdot \eta$ 与《中国岩溶研究》第四章第二节所说的管道水流态与水均衡计算问题的公式 $Q = F \cdot A \cdot \alpha / T$ 是同一含义($\eta \approx 1/T$),但参数要求用观测求得,与后一公式不同。该公式曾在盘西线平关、胜境关隧道和京广线南岭隧道的涌水量预测(科研)中应用,经施工初步验证,较接近实际。

第 8.2.4 条 地下水动力学法计算隧道涌水量,可按水平集水建筑物的水量计算公式计算,该类公式在教科书、水文地质计算手册中均有,可结合水文地质条件选用,故未一一列举。

附录二(五)1. 影响溶洞顶板稳定的因素:内因为溶洞顶板厚度、溶洞跨度及形态,岩层产状、节理、裂隙状况及岩石的物理力学性质;外因为受载状况、岩石含水量与温度变化,以及洞内水流搬运的机械破坏作用等。但影响洞顶板稳定的主要因素是洞顶板的完整性、洞的跨径与顶板厚度以及顶板形态等四要素。

2. 此结论是通过既有线路下的 14 个较薄的溶洞顶板实例调查得出的,见说明表附 2。在其它条件相同的情况下,选择受力条件最不利的水平洞顶板和厚跨比最小者作为安全厚度的判别值,再采用荷载传递线交汇法,成拱分析法,冲切法,弯短法,有限元分析,电阻片现场测试及洞顶板坍塌堵塞法等,在机车动载和最不利位置的作用下,相互验证,得出厚度与跨度之比大于等于 0.5 是安全的结论。

3. 表中铁路线上已有厚跨比为 0.50 的实例,顶板是水平的,而且经受了通车 15 年以上的检验。

4. 其它还有铁路、公路下的土洞,其厚跨比为 **0.33、0.5、1.0** 均属稳定的例子,可见岩溶洞穴顶板厚度与跨度之比为 **0.5** 时,岩石顶板尚有很大的潜力。

5. 京广线坪石站南端路基下溶洞厚跨比为 **0.025**,最厚的一点为 **0.19**,远低于 **0.5**,于 **1986** 年 **1** 月 **19** 日坍塌,证明厚跨比过小是不安全的。

6. 是否比 **0.5** 小的比值,如 **0.3~0.49** 也是安全的呢?当然不能排除这种可能性。溶洞顶板是否稳定,影响因素很复杂,从安全的角度考虑,不必追求更精确、更小的比值。

7. 厚跨比为 **0.5** 的结论已经铁二院于 **1985** 年鉴定通过,并获 **1986** 年部科技进步奖。这一结论是在多年通车检验的实际例子的基础上,经过理论分析与检算得出的,之后又有公路、铁路工程在实践中加以应用。

8. 非完整溶洞顶板的厚度等于大于洞高的五倍的结论,是在三种偏安全的条件下得出的:整个洞顶板都发生坍塌(实际上在铁路工程寿命期限内是不太可能的);柱体坍塌(实际多属穹窿形坍塌);坚硬岩石的胀余率为 **20%**(实际可达 **20~30%**)。

既有线路基下溶洞具有完整顶板的实例

说明表附 2

| 序号 | 线别及工程名称 | 顶板厚度 h(m) | 跨长 l(m) | h/l | 顶板形态 | 洞内特征 |
|----|-----------------|--------------|------------|------|------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 贵昆线 K243+738 路基 | 8.5 | 3 | 2.85 | 斜面 | 完整顶板,有水流。 |
| 2 | 盘西线沙坡隧道 | 2.5 | 3 | 0.83 | 倾斜 $2^{\circ}\sim 8^{\circ}$ | 完整顶板,节理被石灰华充填,作有浆砌片石支柱。 |
| 3 | 枝柳线融安车站石碴线路基 | 4 | 8 | 0.50 | 近水平 | 完整顶板有小支洞,有流水。 |
| 4 | 贵昆线 K15+500 路基 | 14 | 3 | 4.66 | 水平 | 层薄,完整顶板。 |
| 5 | 襄渝线老鱼泉隧道 | 22 | 8 | 2.75 | 近水平 | 完整顶板,有水流。 |
| 6 | 贵昆线四旗路基 | 17 | 6.5 | 2.60 | 近水平 | 岩层倾角 28° ,完整顶板,有流水,水深 2m。 |
| 7 | 耒合线白鹤站路基 | 3 | 1 | 3.00 | 略成拱形 | 不详。 |

| 序号 | 线别及工程名称 | 顶板厚度 h(m) | 跨长 l(m) | h/l | 顶板形态 | 洞内特征 |
|----|-----------------|--------------|------------|------|------|------------------|
| 8 | 贵昆线 K145+900 路基 | 2.7 | 3 | 0.90 | 略成拱形 | 干砌片石支顶,不密贴,完整顶板。 |
| 9 | 贵昆线 K173+100 路基 | 12.5 | 10 | 1.25 | 拱形 | 完整顶板。 |
| 10 | 川黔线响水河桥头路基 | 25~30 | 30 | 0.91 | 拱形 | 完整顶板,有水流。 |
| 11 | 湘黔线小龙洞路基 | 13.5 | 4.0 | 3.37 | 水平 | |
| 12 | 宝成线冉家河路基 | 5.45 | 7 | 0.78 | 水平 | 整体拱形,有水流。 |
| 13 | 贵昆线秧田冲路基 | 4.0 | 6.4 | 0.62 | 水平 | 无流水。 |
| 14 | 贵昆线 K591+881 路基 | 3.6 | 2.9 | 1.24 | 水平 | 完整顶板,无流水。 |

注:① 例 8 顶板上作有涵洞。

② 例 3 路基面至洞顶板间尚有约 3m 厚的人工填筑碎石。

③ 表中各例均为基岩溶洞,到目前为止,均正常行车,少者 5 年,多者 18 年。

9. 如果在非完整溶洞顶板上作桥基,考虑坍体不均匀下沉,可采用压浆、加大顶板厚度等预防性措施。

10. 在完整与非完整溶洞顶板间是否有过渡型?这很难建立一个标准。从安全考虑,如果有坍塌的可能,则按非完整溶洞顶板,取洞高的五倍评价顶板厚度,或者加固处理。附录二(五)中只取用结论的“大于”这一级条件,因此是偏安全的。