



岩溶高原湖盆区 城市快速路施工新技术 —— 哨关路工程施工实践



YANRONG GAOYUAN HUPENQU

CHENGSHI KUAISULU SHIGONG XIN JISHU

——SHAOGUANLU GONGCHENG SHIGONG SHIJIAN

王东生 刘昆珏 胡俊◎著

图书在版编目 (C I P) 数据

岩溶高原湖盆区城市快速路施工新技术：哨关路工程施工实践 / 王东生，刘昆珏，胡俊著. —成都：西南交通大学出版社，2018.4

ISBN 978-7-5643-6115-0

I. ①岩… II. ①王… ②刘… ③胡… III. ①断陷盆地 - 城市道路 - 快速路 - 道路施工 - 工程技术 - 云南 IV. ①U415.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 060816 号

岩溶高原湖盆区城市快速路施工新技术

——哨关路工程施工实践

王东生 刘昆珏 胡俊 著

责任编辑 柳堰龙
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
官网 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 28.5
字数 692 千
版次 2018 年 4 月第 1 版
印次 2018 年 4 月第 1 次
定价 138.00 元
书号 ISBN 978-7-5643-6115-0

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

◎ 责任编辑 / 柳堰龙

◎ 封面设计 / JADE.HE
DESIGN STUDIO

- 高原坝区高速公路施工实用新技术
- 高速公路施工标准化管理手册
- 山区高速公路病害成因及处治技术
- 公路工程标准化施工工艺实用手册
- 市政道路建设管理理论与应用——哨关路工程建设管理实践
- 岩溶高原湖盆区城市快速路施工新技术——哨关路工程施工实践



交大e出版
微信购书|数字资源



官方天猫店
上天猫 买正版

ISBN 978-7-5643-6115-0



9 787564 361150 >

定价: 138.00元

前 言

云南高原新构造运动强烈，一些断块沿多条平行断裂陷落，形成了众多岩溶断陷盆地。其中部分盆地以湖泊为中心，即岩溶断陷湖盆。被誉为“高原明珠”的九大湖泊，流域面积 8 110 km²，占全省土地面积的 21%，其中高原岩溶断陷盆地约占全省土地面积的 6%，因断陷湖盆具有优越的自然地理条件及丰富的资源，多成为当地政治、经济、科技和文化中心。近年来，随着城市化的加速，这些岩溶断陷湖盆区的人口快速增长，市政基础设施尤其是市政道路的建设速度不断加快。

岩溶断陷湖盆地区具有特殊的地质条件，区内主要不良地质现象为岩溶，主要特殊性岩土为红黏土、泥炭土、填土，岩溶断陷湖盆区的常见工程病害包括：岩溶塌陷、高液限土、软土、滑坡、坍塌、泥石流等。岩溶断陷湖盆地区特殊的地质条件，在市政道路施工过程中容易引发特殊的工程问题。

云南省建设投资控股集团有限公司在高原岩溶湖盆区具有丰富的施工经验，近年来，随着国家投融资体制的改革，集团各版块的业务发展迅猛，为提高集团内部的施工技术水平，迫切需要对不同地形地质条件下的市政道路施工技术进行总结和提高。为此目的，集团委托所属路桥总承包部，组织具备丰富经验的总工程师、专业技术人员，以哨关路的施工实践为依托，编著《岩溶高原湖盆区城市快速路施工新技术——哨关路工程施工实践》一书，深入总结分析哨关路施工过程中遇到的各种工程问题及相关施工技术，可为今后类似工程问题提供参考，对于提高岩溶断陷湖盆区市政道路的施工技术水平具有重要的现实意义。

作 者

2017 年 11 月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 岩溶断陷湖盆区的地质特征	1
1.2 岩溶断陷湖盆区的主要工程病害	3
1.3 城市快速路的工程特点	8
1.4 依托工程介绍——哨关路	10
第 2 章 红黏土路基施工技术	20
2.1 云南红黏土的物理特征	20
2.2 云南红黏土的工程特性	25
2.3 云南红黏土路基填筑技术	30
2.4 哨关路红黏土路基施工技术	42
第 3 章 隐伏岩溶路基施工技术	50
3.1 路基隐伏岩溶的探测方法与病害类型	50
3.2 岩溶塌陷机理与分布规律	55
3.3 岩溶路基处理的原则和方法	65
3.4 哨关路岩溶路基处理技术	76
第 4 章 高填石路基施工技术	88
4.1 高填石路基施工的特殊性	88
4.2 高填石路基的压实机理与基本要求	91
4.3 高填石路基的施工工艺	94
4.4 哨关路高填石路基的施工技术	100
第 5 章 溶洞地区桥梁桩基施工技术	109
5.1 溶洞对桩基稳定性的影响及探测方法	109
5.2 钻孔灌注桩遇溶洞钻孔施工技术	113
5.3 溶洞处理技术	121
5.4 哨关路上跨沪昆铁路桥桩基础溶洞处理技术	127
第 6 章 桥梁旋挖桩基础施工技术	146
6.1 桩基旋挖施工技术的特点	146

6.2	桩基旋挖施工工艺	151
6.3	哨关路花庄河大桥旋挖桩施工技术	154
第 7 章	水源保护区跨河大桥施工关键技术	170
7.1	哨关路花庄河大桥工程概况	170
7.2	花庄河大桥墩柱、系梁、盖梁、桥台施工技术	171
7.3	花庄河大桥支架施工技术	193
7.4	花庄河拦砂坝施工	204
7.5	花庄河主桥钢箱梁顶推滑移施工技术	207
第 8 章	城市道路跨越铁路桥梁施工关键技术	243
8.1	哨关路上跨沪昆铁路工程概况	243
8.2	上跨沪昆铁路桥梁顶推施工技术	247
8.3	综合管廊下穿沪昆铁路桥梁施工技术	271
第 9 章	城市道路跨越既有公路桥梁施工技术	276
9.1	哨关路跨 G320 国道工程概况	276
9.2	现浇连续箱梁施工技术	279
9.3	T 梁预制架设施工技术	302
9.4	跨线桥施工防护技术	319
第 10 章	城市综合管廊施工技术	326
10.1	哨关路综合管廊概况	326
10.2	综合管廊基坑施工技术	327
10.3	综合管廊总体施工技术	335
第 11 章	城市综合管廊桥施工关键技术	345
11.1	花庄河管廊桥工程简介	345
11.2	管廊桥现浇箱梁施工技术	349
11.3	管廊桥悬臂浇筑施工技术	357
第 12 章	城市快速路宽幅路面施工关键技术	399
12.1	哨关路路面工程概况及施工总体安排	399
12.2	拌合站建站与施工	402
12.3	级配碎石底基层施工技术	405
12.4	水泥稳定碎石基层施工技术	413
12.5	路面面层施工技术	420
	参考文献	438

第1章 概 论

1.1 岩溶断陷湖盆区的地质特征

1.1.1 岩溶断陷湖盆区的分布概况

岩溶断陷盆地是新生代断裂活动形成的岩溶盆地。盆地形状较为规则，边界平直，呈长条形或方形，面积数十至数百平方千米，底部平坦，有较厚的新生界沉积。云南东部晚近地质时期，南北向断裂构造发育，断陷盆地多达数十个，是中国主要的岩溶断陷盆地分布区。云南高原新构造运动强烈，一些断块沿多条平行断裂陷落，形成了众多岩溶断陷盆地。其中部分盆地以湖泊为中心，即岩溶断陷湖盆。被誉为“高原明珠”的九大湖泊，流域面积 8 110 km²，占全省土地面积的 21%，其中高原岩溶断陷盆地约占全省土地面积的 6%，如图 1-1 所示。岩溶断陷盆地的基底以及周围山地的基岩大部分为可溶岩类。周围山地中溶沟、溶蚀裂隙、封闭洼地等形态发育，而盆地深部可溶岩中溶洞发育，常含丰富的承压岩溶水，有的地区可自流。

断陷湖盆因具有优越的自然地理条件及丰富的资源，多成为当地政治、经济、科技和文化中心。近年来，随着城市化的加速，这些岩溶断陷湖盆区的人口快速增长，市政基础设施尤其是市政道路的建设速度不断加快。岩溶断陷湖盆地区具有特殊的地质条件，在市政道路施工过程中容易引发特殊的工程问题。哨关公路属于城市快速路，该项目位于昆明断陷湖盆区，在该项目的修建过程中遇到了多处典型的工程问题。

深入研究哨关路施工过程中遇到的各种工程问题及相关施工技术，可为今后类似工程问题提供参考，对于提高岩溶断陷湖盆区市政道路的施工技术水平具有重要的现实意义。

1.1.2 昆明岩溶断陷湖盆区的地质特征

1. 区域地质构造

昆明断陷湖积盆地构造区域位于南岭东西构造、川滇南北构造与云南山字型构造交接地带，区内历经多期构造运动，各类型构造形迹较发育，性质复杂多变。按展布方向划分为近南北向构造体系、近东西向构造体系、北西向构造体系，其中近南北向构造体系为区域控制性构造。

2. 地震烈度

区域地质构造复杂，断裂较发育，地震活动频繁，地震多发生在活动性强的主干断裂或两组以上断裂交汇部位。西部的昆明西山断裂带，东部的小江断裂带都是地震活动的敏感地带。据有关史料记载：昆明地区自公元前 26 年迄今共发生地震 652 次，其中破坏性地震 165 次；小江断裂带从公元 1500 年—1975 年共发生地震 37 次，最大震级 8 级，≥6 级地震 12 次。

1927年3月15日嵩明县发生6级地震,震中位于上游水库嵩明—沧溪大断裂本身断面倾向发生转折地段。据地震监测小江断裂带近期内仍在活动。项目区设计基本地震加速度为 $0.20g \sim 0.30g$,抗震设防烈度为Ⅷ度。

3. 水文地质

1) 地表水

项目区主要地表水体为青年水库及八家村水库。其中青年水库位于线路起点北侧;八家村水库位于小哨乡,水库为狭长形状,线路以高架桥形式跨越,该水库目前无养殖,蓄水主要是周边农民灌溉用水和部分村庄的饮用水源,水质清澈无污染,该水库最深处20余米。

2) 地下水

本工程地下水类型主要为孔隙型潜水及基岩裂隙水、岩溶水。孔隙潜水主要赋存于第四系残坡积及冲洪积土层,该层透水性一般,主要接受大气降水补给及地表径流侧向补给。基岩裂隙水主要赋存于全强风化灰岩中、岩溶水主要赋存于灰岩溶洞中,流通性一般较差,部分岩溶发育区勘探孔未见地下水。

4. 工程地质

区内及附近广布碳酸盐岩,除路线起点部分地段属山前冲洪积平原地貌外,总体属溶蚀低山丘陵及岩溶垅岗洼地地貌。部分地段为第四系下更新统冲洪积土,以褐灰色卵(砾)石土、黏土夹卵(砾)石为主,本次勘察未揭穿,最大揭示深度60.9m;其余段落全线表面大面积覆盖第四系红黏土,厚度不均,最厚可达12.4m。下伏泥盆系中统海口组白云质灰岩、角砾状灰岩,岩溶作用较强烈,岩溶漏斗、地下溶洞时有分布,透水及富水性强,岩溶地下水埋藏较深,旱、雨季水位变幅较大。完整岩体力学强度高,稳定性好,而岩溶洞穴发育地段,在诱发条件(上部荷载、水位大幅下降等)可发生岩溶地面塌陷,危害极大。

5. 不良地质及特殊性岩土

区内主要不良地质现象为岩溶,主要特殊性岩土为红黏土、泥炭土、填土。

1) 岩溶

区内分布地层主要为灰岩、白云质灰岩,其可溶性好,厚度大,表层主要为第四系松散层覆盖,第四系松散层以红黏土及次生红黏土层为主。30m以浅基岩中局部见厅堂式溶洞发育,区内岩溶形态地表主要表现为地下隐伏性岩溶,主要类型为溶洞、溶隙、溶孔等,部分地表发育有岩溶洼地。由于岩溶的长期作用,路线区土层下部溶隙、溶沟、石芽等相对较发育,造成基岩面起伏较大,上部土层的厚度变化较大,地基存在不均匀性。区内基岩为可溶性碳酸盐岩,主要工程地质问题由岩溶作用引起,地基不均匀性、石芽岩体稳定性、溶洞顶板岩体稳定性、地面塌陷可能性是拟建项目的主要工程地质问题。

2) 红黏土

旱季位于斜坡和陡坎地带的红黏土发育收缩裂隙或地裂。收缩裂隙呈网状,以纵向为主,斜交和水平裂隙少见,地裂水平方向多为单向延伸,斜坡地段平行等高线延伸,具干张、湿润可逆性变化。红黏土抗风化性弱,土体强度对湿度、温度变化敏感,易出现强度降低,产生不均匀胀缩特性。

红黏土分布范围较广，由于侵溶蚀的长期作用，地下溶沟、溶槽相对较发育，基岩面起伏相对较大，红黏土厚度变化较大，一般厚度 1~15 m，局部地段厚度达到 38.2 m，土质主要以高液限黏土为主。红黏土随深度不同，存在不同的特性，主要表现如下：① 红黏土随深度存在明显变化，浅表层由于孔隙水被蒸发，形成松散的红黏土层，土体松散，对拟建工程影响较大。② 松散层以下，红黏土稍湿，呈硬塑状，局部可塑状，干强度高。承载力较高，可作为道路的路基基础持力层。③ 接近基岩段随岩溶的发育情况，分别呈现可塑状—软塑状，主要跟岩溶水的发育有关，岩溶发育路段，地下水排泄通畅，红黏土呈可塑状，局部夹有灰岩碎块石，岩溶不发育地段，地下水排水不畅，红黏土呈软塑状，对路基不均匀沉降存在一定的安全影响，现状条件下，区内均为岩溶强发育，受地下水影响的范围较小。

浅部红黏土层受大气影响深度 4.00~4.50 m，以及大气影响急剧层 1.80~2.00 m 范围内，结构松散。该红黏土自由膨胀率为 25.8%~38.7%；重度变化大，平均孔隙比较高，平均收缩系数较大，对路基存在一定的安全影响。不可直接作为路基填料，如需使用，必须进行掺灰或掺石料处理，且应做好排水措施。基础施工宜采用分段快速作业法，施工过程中不得曝晒或泡水，雨季施工时应采取防水措施。

3) 泥炭土

区内局部地段分布 4-2a 层泥炭土，灰黑色，软—可塑，切面稍有光滑，韧性及干强度中等，腐殖物含量较高，含水率 34.0%~64.9%，孔隙比 0.974~1.527，压缩系数 0.549，有机质含量 36.8%。该层层顶埋深 1.5~4.0 m，层厚 0.5~1.5 m。该层高含水率、高压缩性、高孔隙比，整体性质较差。

4) 填土

区内局部地段分布 1a 层填土，褐色—褐红色，主要以黏性土为主，土质松散，多分布于线路表层，一般厚度 0.3~1.0 m。局部地段堆填有大量松散土，最大填土厚度约 15.6 m。

1.2 岩溶断陷湖盆区的主要工程病害

岩溶断陷湖盆区的常见工程病害包括：岩溶塌陷、高液限土、软土、滑坡、坍塌、泥石流等。

1.2.1 岩溶塌陷

昆明岩溶断陷湖积盆地域内广泛分布碳酸盐，下伏泥盆系中统海口组白云质灰岩，岩溶作用较强烈，岩溶漏斗、地下溶洞时有分布。

岩溶塌陷 (karst break down) 是指在岩溶地区，下部可溶岩层中的溶洞或上覆土层中的土洞，因自身洞体扩大或在自然与人为因素影响下，顶板失稳产生塌落或沉陷的统称。在我国岩溶塌陷的定义有狭义岩溶塌陷与广义岩溶塌陷之分。

狭义岩溶塌陷又叫岩溶地面塌陷，是指开口溶洞 (溶隙) 与上覆土层中的水、气，对盖层产生力学效应，导致地面塌落的一种岩溶动力地质作用与现象。广义岩溶塌陷是指在岩溶地区，由于下部岩体中的洞穴扩大而导致顶板岩体塌陷，或上覆土层中的土洞顶板因自然或人为因素失去平衡产生下沉或塌陷的通称。该定义将岩溶塌陷分为基岩塌陷和上覆土层塌陷

即两种，前者是指基岩洞穴顶板的坍塌；后者指土洞顶板的塌落（即狭义的岩溶塌陷）。

岩溶地面塌陷是地面变形破坏的主要类型，多发生于碳酸盐岩、钙质碎屑岩和盐岩等可溶性岩石分布地区。激发塌陷活动的直接诱因除降雨、洪水、干旱、地震等自然因素外，往往与抽水、排水、蓄水和其他工程活动等人为因素密切相关，而后者往往规模大、突发性强、危害也就大。岩溶地面塌陷发现于碳酸盐岩分布区，其形成受到环境和人类活动的双重影响。

（1）可溶岩及岩溶发育程度。

可溶岩是由岩溶地面塌陷形成的物质基础，而岩溶洞穴的存在则为地面塌陷提供了必要的空间条件。大量塌陷事件表明，塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区，部分发育在埋藏型岩溶分布区。溶穴的发育和分布受岩溶发育条件的制约，一般主要沿构造断裂破碎带、褶皱轴部张裂隙发育带、质纯层厚的可溶岩分布地段、与非可溶岩接触地带分布。岩溶的发育程度和岩溶洞穴的开启程度，是决定岩溶地面塌陷的直接因素，可溶岩洞穴和裂隙一方面造成岩体结构的不完整，形成局部的不稳定，另一方面为容纳陷落物质和地下水的强烈运动提供了充分的空间条件。一般情况下，岩溶越发育，溶穴的开启性越好，洞穴的规模越大，则岩溶地面塌陷也越严重。

（2）覆盖层厚度、结构和性质。

松散破碎的盖层是塌陷体的主要组成部分，由基岩构造成的塌陷体在重力作用下沿溶洞、管道顶板陷落而成的塌陷为基岩塌陷。塌陷体物质主要为第四系松散沉积物所形成的塌陷叫土层塌陷。据南方十省区统计，土层塌陷占塌陷总数的 96.7%。

（3）地下水运动。

地下水运动是塌陷产生的动力条件——主要动力。地下水的流动及其水动力条件的改变是岩溶塌陷形成的最重要动力因素，地下水径流集中和强烈的地带，最易产生塌陷，这些地带：岩溶地下水的主径流带；岩溶地下水的（集中）排泄带；地下水位埋藏浅、变幅大的地带（地段）；地下水位在基岩面上下频繁波动的地段；双层（上为孔隙、下为岩溶）含水介质分布的地段，或地下水位急剧变化的地段；地下水与地表水转移密切的地段。地下水位急剧变化带是塌陷产生的敏感区，水动力条件的改变是产生塌陷的主要触发因素。水动力条件发生急剧变化的原因主要有降雨、水库蓄水、井下充水、灌溉渗漏、严重干旱、矿井排水、强烈抽水等。此外，地震、附加荷载、人为排放的酸碱废液对可溶岩的强烈溶蚀等均可诱发岩溶地面塌陷。

1.2.2 过湿土与高液限土

在昆明断陷湖盆区，过湿土主要分布在东部的红黏土地带，对“过湿土”目前尚无确切的定义。按现行公路路基土的分类，所说的过湿土大多属于高液限黏土。有的文献认为，过湿土一般是指稠度（ w_c ）小于某一允许值后，必须采取相应技术措施加以处理方可压实到规定压实度的土。研究表明：黏性土按稠度 $[w_c = (w_L - w) / I_p]$ ， w_L 为液限， w 为天然含水量， I_p 为塑性指数]划分时， $w_c < 0.5$ 时呈极软塑状，不能直接用作筑路材料； $w_c = 0.5 \sim 0.75$ 时呈软塑状，属于需要处理的湿黏土，如用作填土材料，可掺入无机结合料，视情况晾晒拌和后压实，能获得满意效果； $w_c = 0.75 \sim 1.00$ 时呈硬塑状，属于可利用的湿黏土，其中 $w_c = 0.90 \sim 1.00$ 时只需稍加晾晒便可压实； $w_c = 0.75 \sim 0.90$ 时需要晾晒时间较长，并需要掺入小剂量的结合料

拌和后压实；只有当 $w_c > 1.00$ 时土呈半固体状，属于正常填料，直接可用重型机具碾压密实。

高液限土具有含水量高、容重轻、稳定性差、强度低等特点，按常规的施工工艺高液限土的压实度达不到设计规范要求。在工程中判别高液限土的 3 个指标为：小于 0.075 mm 的颗粒含量大于 50%、液限大于 50%，塑性指数大于 26 的土。高液限土除了具有遇水膨胀、失水收缩的特征外，更主要的特征是高液限土的压实性差，经过压实后的土的压缩性仍然较大，且有明显的应变软化。如果忽视高液限土的这些工程特性，很容易导致边坡工程失稳。

高液限土通常含有大量的蒙脱石、伊利石、高岭石等黏土矿物成分。其中蒙脱石是由颗粒极细的含水铝硅酸盐构成的矿物，其晶格单元由两层硅氧四面体层夹一层氧化铝八面体层构成，层间连接依靠范德华力，较弱，水分子容易进入晶胞之间，增大晶胞距离，脱水后，又产生相应的收缩，其液限变化范围可达到 140%~710%，塑限范围为 50%~100%；在晶格之间，由于同晶置换作用，使蒙脱石具有很强的吸附能力，大量的 Na^+ 、 Ca^{2+} 填充进来，产生双电层效应，导致粒间的膨胀。相似的，伊利石也具有 2:1 的三层晶体结构，但其吸附的阳离子主要为 Na^+ 、 K^+ ，晶格间连接力较强，水分子不容易进入，所以伊利石亲水性、胀缩性不如蒙脱石，其液限变化范围为 80%~120%，塑限为 45%~60%。伊利石属于较不稳定的中间产物，性质介于蒙脱石和高岭石之间，并随着层间 K^+ 含量的逐渐减少，而接近于蒙脱石。高岭石的结构单元是由一层铝氢氧晶片和一层硅氧晶片组成的晶胞。晶胞之间的联结是氧原子与氢氧基之间的氢键，联结力较强，晶胞之间的距离不易改变，水分子不能进入，亲水性及膨胀性较前两种矿物成分小。

高液限土的工程性质与其母岩成分、含水量、密实度、外荷载大小及作用方式、其他物理化学作用等都有关系。根据大量工程实践可知：高液限土透水性较差；干硬时强度高，坚硬不易挖掘，不易压实；毛细现象明显，吸水后能长时间保持水分，故吸水后承载力小、稳定性差；具有较大的可塑性、弱膨胀性和黏性。

1.2.3 软土

在昆明断陷湖盆区，滇池周边地带及域内河流两侧局部分布有淤泥质软土。软土一般外观以灰色为主，这类土的物理特性大部分是饱和的，包括淤泥、淤泥质土（淤泥质黏性土粉土）、泥炭、泥炭质土等，且天然含水量大于液限的细粒土，含有机质，天然含水量大于液限，孔隙比大于 1；当天然孔隙比大于 1.5 时，称为淤泥；天然孔隙比大于 1 而小于 1.5 时，则称为淤泥质土。软土主要是由天然含水量大、压缩性高、承载能力低的淤泥沉积物及少量腐殖质所组成的土。软土是指滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土。具有天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层层次分布复杂、各层之间物理力学性质相差较大等特点。软土泛指淤泥及淤泥质土，是第四纪后期于沿海地区的滨海相、泻湖相、三角洲相和溺谷相，内陆平原或山区的湖相和冲击洪积沼泽相等静水或非常缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成的饱和软黏性土。软土的组成和状态特征是由其生成环境决定的。由于它形成于上述水流不畅通、饱和缺氧的静水盆地，这类土主要由黏粒和粉粒等细小颗粒组成。淤泥的黏粒含量较高，一般达 30%~60%。黏粒的黏土矿物成分以水云母和蒙脱石为主，含大量的有机质。有机质含量一般达 5%~15%，最大达 17%~25%。这些

黏土矿物和有机质颗粒表面带有大量负电荷，与水分子作用非常强烈，因而在其颗粒外围形成很厚的结合水膜，且在沉积过程中由于粒间静电荷引力和分子引力作用，形成絮状和蜂窝状结构。所以，软土含大量的结合水，并由于存在一定强度的粒间连结而具有显著的结构性。由于软土的生成环境及粒度、矿物组成和结构特征，结构性显著且处于形成初期，呈饱和状态，这都使软土在其自重作用下难于压密，而且来不及压密。因此，不仅使之必然具有高孔隙性和高含水量，而且使淤泥一般呈欠压密状态，以致其孔隙比和天然含水量随埋藏深度很小变化，因而土质特别松软。淤泥质土一般则呈稍欠压密或正常压密状态，其强度有所增大。淤泥和淤泥质土一般呈软塑状态，但当其结构一经扰动破坏，就会使其强度剧烈降低甚至呈流动状态。因此，淤泥和淤泥质土的稠度实际上通常处于潜流状态。

由于软土强度低，沉量大，往往给道路工程带来很大的危害，如处理不当，会给公路的施工和使用造成很大影响。软土根据特征，可划分为：软黏性土、淤泥质土、淤泥、泥炭质土及泥炭五种类型。路基中常见的软土，一般是指处于软塑或者流塑状态下的黏性土。其特点是天然含水量大、孔隙比大、压缩系数高、强度低，并具有蠕变性、触变性等特殊工程地质性质，工程地质条件较差。选用软土作为路基应用，必须提采取切实可行的技术措施。这种土质如果在施工中出现在路基填土或桥涵构造物基础中，最佳含水量不易把握，极难达到规定的压实度值，满足不了相应的密实度要求，在通车后，往往会发生路基失稳或过量沉陷。其危害性显而易见，故禁止采用。在软土地基上修筑路堤，特别是桥头引道，如不采取有效的加固措施，就会产生不同程度的坍塌或沉陷，导致公路破坏或不能正常使用。

软土地基下沉的一个主要原因是软土地基的沉降，包括瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降三部分。根据沉降标准，按我国现行的有关规定，用容许工后沉降——路面设计使用年限内的剩余沉降来控制（其值见有关设计标准）。一般地，除要确保新填筑路基的密实度以减少沉降外，包括原地面的地基总沉降必须达到基本稳定，沉降量大致达到总沉降量的80%以上时，才容许铺路面。软土地基沉降严重时，不仅增加填方数量，而且沉降或水平位移对临近填土的桥台、挡土墙、涵洞，甚至对附近的住宅、农田以及路线的技术标准都会产生很大的影响。为此，首先应做好深入细致的工程地质勘探工作，充分研究已有地质资料，采取调绘、钻探、原位测试及物探等综合勘测手段。查明路段所处的地形、地质、水文、气候、径流条件等自然环境条件和路基排水条件，明确松软土层的成因、类型、分布范围及其在路线通过地带分布的具体情况，确定软土层在纵向、横向的分布厚度、层次、各层土的土质及物理力学性质（如天然容重、天然含水量、塑限、液限、孔隙比、内聚力、内摩擦角、承载力及渗透系数等）。根据路基土的工程特性，选用适当的处理措施。

1.2.4 滑坡

昆明断陷湖盆区内，零星分布着一些小型土质滑坡。滑坡是指斜坡上的土体或者岩体，受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影响，在重力作用下，沿着一定的软弱面或者软弱带，整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。滑坡的机制是某一滑移面上剪应力超过了该面的抗剪强度，运动的岩（土）体称为变位体或滑移体，未移动的下伏岩（土）体称为滑床。

产生滑坡的基本条件是斜坡体前有滑动空间，两侧有切割面。例如中国西南地区，特别

是西南丘陵山区，最基本的地形地貌特征就是山体众多，山势陡峻，土壤结构疏松，易积水，沟谷河流遍布于山体之中，与之相互切割，因而形成众多的具有足够滑动空间的斜坡体和切割面。广泛存在滑坡发生的基本条件，滑坡灾害相当频繁。从斜坡的物质组成来看，具有松散土层、碎石土、风化壳和半成岩土层的斜坡抗剪强度低，容易产生变形面下滑；坚硬岩石中由于岩石的抗剪强度较大，能够经受较大的剪切力而不变形滑动。但是如果岩体中存在着滑动面，特别是在暴雨之后，由于水在滑动面上的浸泡，其抗剪强度大幅度下降而易滑动。降雨对滑坡的影响很大。降雨对滑坡的作用主要表现在，雨水的大量下渗，导致斜坡上的土石层饱和，甚至在斜坡下部的隔水层上积水，从而增加了滑体的重量，降低土石层的抗剪强度，导致滑坡产生。不少滑坡具有“大雨大滑、小雨小滑、无雨不滑”的特点。地震对滑坡的影响很大。究其原因，首先是地震的强烈作用使斜坡土石的内部结构发生破坏和变化，原有的结构面张裂、松弛，加上地下水也有较大变化，特别是地下水位的突然升高或降低对斜坡稳定是很不利的。另外，一次强烈地震的发生往往伴随着许多余震，在地震力的反复振动冲击下，斜坡土石体就更容易发生变形，最后就会发展成滑坡。

1.2.5 崩塌

昆明断陷湖盆区内的崩塌现象主要出现在盆地西部的西山区域，多发生在雨季，具有较大的工程危害。崩塌是指陡峻山坡上岩块、土体在重力作用下，发生突然的急剧的倾落运动。多发生在大于 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 的斜坡上。崩塌的物质，称为崩塌体。崩塌体为土质者，称为土崩；崩塌体为岩质者，称为岩崩；大规模的岩崩，称为山崩。崩塌可以发生在任何地带，山崩限于高山峡谷区内。崩塌体与坡体的分离界面称为崩塌面，崩塌面往往就是倾角很大的界面，如节理、片理、劈理、层面、破碎带等。崩塌体的运动方式为倾倒、崩落。崩塌体碎块在运动过程中滚动或跳跃，最后在坡脚处形成堆积地貌——崩塌倒石锥。崩塌倒石锥结构松散、杂乱、无层理、多孔隙；由于崩塌所产生的气浪作用，使细小颗粒的运动距离更远一些，因而在水平方向上有一定的分选性。

崩塌会使建筑物，有时甚至使整个居民点遭到毁坏，使公路和铁路被掩埋。由崩塌带来的损失，不单是建筑物毁坏直接损失，并且常因此而使交通中断，给运输带来重大损失。崩塌有时还会使河流堵塞形成堰塞湖，这样就会将上游建筑物及农田淹没，在宽河谷中，由于崩塌能使河流改道及改变河流性质，而造成急湍地段。

防治崩塌的工程措施主要有：

(1) 排水：在有水活动的地段，布置排水构筑物，以进行拦截与疏导。包括排出边坡地下水 and 防止地表水进入。

(2) 锚固：① 遮挡。即遮挡斜坡上部的崩塌物。这种措施常用于中、小型崩塌或人工边坡崩塌的防治中，通常采用修建明硐、棚硐等工程进行，在铁路工程中较为常用。② 拦截。对于仅在雨后才有坠石、剥落和小型崩塌的地段，可在坡脚或半坡上设置拦截构筑物。如设置落石平台和落石槽以停积崩塌物质，修建挡石墙以拦坠石；利用废钢轨、钢钎及钢丝等编制钢轨或钢钎栅栏来拦截这些措施，也常用于铁路工程。③ 支挡。在岩石突出或不稳定的大孤石下面修建支柱、支挡墙或用废钢轨支撑。④ 打桩。固定边坡。⑤ 护墙、护坡。在易风化剥落的边坡地段，修建护墙，对缓坡进行水泥护坡等。一般边坡均可采用。

(3) 刷坡、削坡。在危石孤石突出的山嘴以及坡体风化破碎的地段，采用刷坡技术放缓边坡。

(4) 镶补勾缝。对坡体中的裂隙、缝、空洞，可用片石填补空洞，水泥砂浆勾缝等以防止裂隙、缝、洞的进一步发展。

(5) 其他：灌浆（充填硅酸盐水泥）等。

1.2.6 泥石流

昆明断陷湖盆区内的泥石流现象主要发生在东部寻甸、东川境内。泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑，地形险峻的地区，因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流。泥石流具有突然性以及流速快，流量大，物质容量大和破坏力强等特点。发生泥石流常常会冲毁公路铁路等交通设施甚至村镇等，造成巨大损失。

泥石流是暴雨、洪水将含有沙石且松软的土质山体经饱和和稀释后形成的洪流，它的面积、体积和流量都较大，而滑坡是经稀释土质山体小面积的区域，典型的泥石流由悬浮着粗大固体碎屑物并富含粉砂及黏土的黏稠泥浆组成。在适当的地形条件下，大量的水体浸透流水山坡或沟床中的固体堆积物质，使其稳定性降低，饱水分的固体堆积物质在自身重力作用下发生运动，就形成了泥石流。泥石流是一种灾害性的地质现象。通常泥石流爆发突然、来势凶猛，可携带巨大的石块。因其高速前进，具有强大的能量，因而破坏性极大。泥石流流动的全过程一般只有几个小时，短的只有几分钟，是一种广泛分布于世界各国一些具有特殊地形、地貌状况地区的自然灾害。这是山区沟谷或山地坡面上，由暴雨、冰雪融化等水源激发的、含有大量泥沙石块的介于挟沙水流和滑坡之间的土、水、气混合流。泥石流大多伴随山区洪水而发生。它与一般洪水的区别是洪流中含有足够数量的泥沙石等固体碎屑物，其体积含量最少为 15%，最高可达 80% 左右，因此比洪水更具有破坏力。

减轻或避防泥石流的工程措施主要有：① 跨越工程。是指修建桥梁、涵洞，从泥石流沟的上方跨越通过，让泥石流在其下方排泄，用以避防泥石流。这是铁道和公路交通部门为了保障交通安全常用的措施。② 穿过工程。指修隧道、明硐或渡槽，从泥石流的下方通过，而让泥石流从其上方排泄。这也是铁路和公路通过泥石流地区的又一主要工程形式。③ 防护工程。指对泥石流地区的桥梁、隧道、路基及泥石流集中的山区变迁型河流的沿河线路或其他主要工程措施，作一定的防护建筑物，用以抵御或消除泥石流对主体建筑物的冲刷、冲击、侧蚀和淤埋等的危害。防护工程主要有：护坡、挡墙、顺坝和丁坝等。④ 排导工程。其作用是改善泥石流流势，增大桥梁等建筑物的排泄能力，使泥石流按设计意图顺利排泄。排导工程，包括导流堤、急流槽、束流堤等。⑤ 拦挡工程。用以控制泥石流的固体物质和暴雨、洪水径流，削弱泥石流的流量、下泄量和能量，以减少泥石流对下游建筑工程的冲刷、撞击和淤埋等危害的工程措施。拦挡措施有：拦渣坝、储淤场、支挡工程、截洪工程等。

1.3 城市快速路的工程特点

城市快速路，常简称为快速路，是等级最高的城市道路，通过设置超长距离的中央隔离

带使汽车快速通行，位居城市道路四个等级中的顶端。城市道路中设有中央分隔带，具有双向四车道以上的规模，全部或部分采用立体交叉与控制出入，供车辆以较高速度行驶，主要作用是保证汽车畅通、连续地行驶，提高城市内部的运输效率。城市快速路的一个主要原则，即快速路没有红绿灯，可以连续通行。因此需要在所有的路口形成一个立交，或者是一个简单的立交，或者是大型的立交，立交的设置主要跟相关道路有关。城市快速路的另一个重要特点是它只服务于城市内部。如果一条快速路已连接着其他城市，则不能叫城市快速路，应该叫城际快速路。与高速公路相比，城市快速路的建设具有显著的不同，这种区别主要体现在以下几个方面：

1. 道路宽度大、土石方工程量大、路基路面施工要求高

按照规范要求，城市快速路的道路宽度一般在 40~70 m，加上分隔带、绿化带、辅道，一般总宽度会达到 60 m 以上。由于城市快速路的道路很宽，整个工程的土石方工程量庞大；此外，道路宽度大容易导致在路基的横向产生差异沉降，进而容易引发路面纵向裂缝等路面病害的发生。因此，城市快速建设时，对路基、路面的施工质量提出了更高的要求。

2. 道路立交多、跨线施工任务常见

规范要求城市快速路以立体交叉的方式通过道路交叉口，由于城市快速路只服务于城市内部，在施工过程中难免要与许多已经建成的公路、铁路、水利设施、城市轨道交通等工程产生交叉；一般交叉穿越的方式或采用桥梁上跨，或采用地下工程下穿。总之，在城市快速路施工过程中，不可避免地要遇到很多跨线施工任务。跨线施工技术难度大、安全风险高，往往成为制约整个工程进度的瓶颈。

3. 地下管线等附属设施多

在市政建设过程中，一般会将大量的城市生命线工程附着在市政道路的下方。因此城市快速路的修筑往往伴随着大量地下管线等附属设施的修建（主要包括供水、排水系统管线；电力、燃气及石油管线；电话和广播电视等通信管线），这些附属设施有时会各自独立修筑，有时会采用城市综合管廊的形式集中修筑。这些附属设施是城市快速路的重要组成部分，也会对城市快速路的投资和进度产生直接影响。

4. 安全保通任务重

城市快速路在市区进行跨线施工时，既要保证工程施工的顺利进行，又要保证既有道路的畅通，此外还要同时保证既有道路的通行安全和在建道路的施工安全。因此，城市快速路施工的安全保通任务非常繁重。

5. 环境保护、文明施工要求高

与高速公路相比，城市快速路在城市范围内施工，因此对施工环境保护和文明施工提出了更高的要求。环境保护和文明施工的高要求主要体现在以下几个方面：①对地上构筑物 and 地下管线的保护要求高；②对施工围挡的要求高；③对施工噪音控制及施工扬尘控制要求高；④对土方运输要求高；⑤对既有道路通行秩序要求高。

1.4 依托工程介绍——哨关路

1.4.1 工程概述

哨关路位于云南省滇中新区嵩明—空港片区，是片区骨架路网的重要组成部分，路线总体呈东西走向，东接新昆嵩高速，西连昆曲高速改线，总里程约 12.687 km，主要工程内容包括道路工程、桥涵工程、排水工程、交通工程、照明工程、综合管廊工程、环境保护和景观工程。哨关路起点接新昆嵩高速小哨互通，终点顺接小龙高速哨关互通。哨关路作为片区内部骨架道路，其功能主要是作为空港—嵩明组团的東西片区发展轴、东西向骨架道路；服务于嵩明中部片区对外快速出行、未来小哨核心区；同时服务于沿线产业发展，带动周边地块开发。哨关路区位图如图 1-2、1-3 所示。



图 1-2 哨关路区位图



图 1-3 哨关路与其他道路交叉关系

1.4.2 设计标准

哨关路横断面图如图 1-4 所示。

(1) 道路等级：城市快速路。

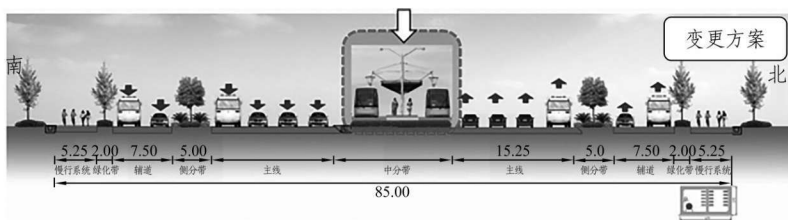


图 1-4 哨关路横断面图

(2) 设计车速:

快速系统 80 km/h。

辅道系统 40 km/h。

(3) 加减速车道:

加速车道长度: 160 m。

减速车道长度: 80 m。

渐变段长度: 50 m。

(4) 道路主要线性标准 (表 1-1)。

表 1-1 道路线行标准

项目	单位	技术指标要求表			
		主路		辅路	
道路等级		快速路	主干路	主干路	
设计车速	km/h	80	60	40	
车道宽度	m	3.5、3.75	3.5、3.75	3.5	
不设缓和和曲线最小圆曲线半径	m	2 000	1 000	500	
不设超高最小半径	m	1 000	600	300	
设超高推荐半径	m	400	300	150	
设超高最小半径	m	250	150	70	
平曲线最小长度	m	140	100	35	
小转角平曲线最小长度	m/a	1 000	700	500	
缓和曲线最小长度	m	70	50	35	
机动车最大纵坡	%	4	5	6	
机动车最小纵坡	%	0.3 (地面) 0.5 (高架)	0.3	0.3	
纵坡坡段最小长度	m	200	150	110	
最大超高	%	6	6	6	
凸形竖曲线	极限最小半径	m	3 000	1 200	400
	一般最小半径	m	4 500	1 800	600
凹形竖曲线	极限最小半径	m	1 800	1 000	450
	一般最小半径	m	2 700	1 500	700

(5) 通行净空高度:

机动车道: ≥ 5.0 m。

非机动车道和人行道: ≥ 2.5 m。

(6) 荷载等级:

桥梁荷载等级: 城-A 级。

人群荷载: 按《城市桥梁设计规范》(CJJ11—2011) 取用。