

YUQIAN TIELU BAISHATUO CHANGJIANG DAQIAO
JIANZAO GUANJIAN JISHU

渝黔铁路白沙沱长江大桥 建造关键技术

王明慧 等 编著



西南交通大学出版社

世界上第一座双层铁路钢桁梁斜拉桥
世界上延米载荷最大的桥梁

渝黔铁路白沙沱长江大桥 建造关键技术

王明慧一等 编著



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

渝黔铁路白沙沱长江大桥建造关键技术 / 王明慧等
编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.10
ISBN 978-7-5643-4249-4

I. ①渝… II. ①王… III. ①铁路桥—钢桁架桥—斜
拉桥—桥梁工程—重庆市 IV. ①U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 204024 号

渝黔铁路白沙沱长江大桥建造关键技术
王明慧 等 编著

责任编辑	姜锡伟
封面设计	原谋书装
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	19.75
字 数	493 千
版 次	2015 年 10 月第 1 版
印 次	2015 年 10 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4249-4
定 价	120.00 元

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

◎ 序 ◎

20 世纪 50 年代末，重庆白沙沱长江大桥建成通车，该桥是继武汉长江大桥后建成的第二座长江大桥。2012 年，在白沙沱桥的下游 150 m 处开始修建新白沙沱长江大桥，大桥跨度由 80 m 增加至 432 m。时间的流逝见证了桥梁建造技术的飞速发展。

渝黔铁路白沙沱长江大桥主桥为 $(81 + 162 + 432 + 162 + 81)$ m 双层六线钢桁梁斜拉桥。大桥采用双层桥面布置形式，上层布置四线客运专线铁路，下层布置渝黔货车双线铁路，建成后将是世界上跨度最大、荷载最重的六线铁路斜拉桥，也是世界上首座双层铁路钢桁梁斜拉桥。

渝黔铁路白沙沱长江大桥结构复杂、荷载重、拉索受力大、受力分配复杂、施工要求高、技术难度大。大桥分别从桥梁结构形式、荷载标准、轨道结构、抗风、风车桥耦合动力特性、钢桁梁架设及合龙措施等多方面开展了深入的科学研究，有效解决了大桥建设中的技术难题，形成了多项自主创新成果。

本书中既有丰富的理论知识，也有大量的试验、计算与实证分析，可作为桥梁建设技术人员和高等院校桥梁专业学生的参考用书。

中国工程院院士



2015 年 6 月 15 日

◎ 前 言 ◎

渝黔铁路白沙沱长江大桥为 $(81+162+432+162+81)$ m 双层六线钢桁梁斜拉桥。大桥采用双层桥面布置形式, 其上层布置 4 条客运专线铁路 (分别为渝黔客线双线及预留双线), 下层布置渝黔货车双线铁路; 其设计荷载为双线中—活载 + 4 线 ZK 活载。本桥建成后将是世界上跨度最大、荷载最重的六线铁路斜拉桥, 也是第一座双层布置形式的铁路斜拉桥。大桥建造需重点解决以下关键问题:

(1) 结合铁路轨道形式, 确定桥梁横断面布置形式、桥梁轨道连接形式、索梁锚固形式、桥塔结构形式。

(2) 六线铁路桥梁强度、疲劳计算活载加载方式和加载标准, 规范无具体规定, 也没有应用的实例可供借鉴。

(3) 渝黔铁路白沙沱长江大桥为六线铁路桥, 采用合理的轨道形式, 便于减轻二期恒载, 减少桥梁用钢量, 降低工程投资。

(4) 该桥跨度大、荷载大、列车速度目标值高。该桥的动力性能直接关系到桥上列车运行的安全性和平稳性 (舒适性), 但六线桥梁刚度控制标准无现成的规范可供借鉴。因此, 需对列车荷载作用下桥梁结构的性能进行具体分析, 以保证列车在桥梁上运行平稳、安全舒适。

(5) 桥梁为大跨柔性结构, 结构的风致响应及抗风稳定性, 是关系到施工安全和运营安全的重要问题。由于风对桥梁作用的复杂性, 仅依靠理论计算无法得到可靠的结论, 所以, 日本、美国、英国等国的桥梁抗风规范及我国公路桥梁抗风规范 (我国还没有大跨度铁路桥梁的相关规范) 对跨度超过 200 m 的大跨度桥梁均规定有必要通过风洞试验进行专门的抗风研究。因此, 对六线铁路双层大跨斜拉桥抗风性能研究很有必要。

(6) 鉴于双层六线大跨铁路斜拉桥的建设经验不足, 需要对索塔施工、钢桁梁架设、线性控制、索力监控等方面进行相关研究, 尤其对双层大跨钢桁梁架设施工技术需要进行认真研究, 确保钢桁梁架设的顺利实施。

(7) 鉴于双层六线大跨铁路斜拉桥钢桁梁刚度大、调节能力差, 需要重点对六线双层大跨钢桁梁合龙技术进行研究, 确保钢桁梁的顺利合龙。

综上所述, 渝黔铁路有限责任公司渝黔铁路白沙沱长江大桥建造关键技术研究课题组主持完成了有关课题, 与中铁二院工程集团有限责任公司、中国铁道科学研究院、西南交通大学、中铁大桥勘察设计院集团有限责任公司、中铁大桥局集团有限公司合作, 开展了以下 7 个方面的研究:

(1) 渝黔铁路白沙沱长江大桥主桥合理结构形式;

(2) 渝黔铁路白沙沱长江大桥活载加载标准、疲劳加载标准;

(3) 渝黔铁路白沙沱长江大桥桥面系合理结构形式及轨道结构;

- (4) 渝黔铁路白沙沱长江大桥多线共振以及风车桥耦合动力分析;
- (5) 渝黔铁路白沙沱长江大桥抗风性能;
- (6) 渝黔铁路白沙沱长江大桥钢桁梁架设施工技术;
- (7) 渝黔铁路白沙沱长江大桥合龙关键技术。

渝黔铁路白沙沱长江大桥属于铁路双层桥面钢桁斜拉桥,结构复杂、荷载重、拉索受力大、受力分配复杂、施工难度大、技术要求高,通过研究,取得了许多重要的成果,并在渝黔铁路白沙沱长江大桥的建设中得到运用。本书是在总结这些成果的基础上,经过修改和整理而成的。书中既有丰富的理论基础,也有大量的试验、计算与实证分析,可以作为桥梁建设技术人员和高等院校桥梁专业本科生、研究生的参考用书。同时,作为目前第一部系统研究和探讨世界上荷载最重的六线铁路、第一座双层布置形式的铁路斜拉桥的专门书籍,可能有些问题和观点还需要进一步完善,还需要做更深入的工作。

参加课题研究的人员有:

渝黔铁路有限责任公司:王明慧、孙根柱、王达、肖家强、张顺熙、黄旭

中铁二院工程集团有限责任公司:陈克坚、朱颖、许佑顶、鄢勇、颜华、潘自立、艾宗良、袁明、田春香、汪盈盈、戴胜勇、杨吉忠、童登国、林红松、李锐、袁蔚

中铁大桥勘测设计院有限公司:徐伟、刘汉顺、杜萍、张强、刘岩

中铁大桥局集团有限公司:姚发海、李德坤、周功建、宋小三、代皓

中国铁道科学研究院:张玉玲、崔鑫、田越、陶晓燕

西南交通大学:王平、杨荣山、肖杰灵、陈嵘、赵坪锐、郭利康、魏贤奎、谢铠泽、吴仁义、刘浩、李永乐、李小珍、祝兵、崔圣爱、刘德军、向活跃、朱艳、徐昕宇、郭建明、马存明、廖海黎、李明水、郑史雄、徐义国

本书共10章,由王明慧、陈克坚、徐伟、姚发海、张玉玲、王平、祝兵共同组织完成。本书统稿由王明慧负责。书中参阅了大量的国内外著作、学术论文等文献资料,在此谨向作者们表示深深的谢意!

本书是渝黔铁路白沙沱长江大桥建造关键技术研究的科研成果结晶,是众多科技工作者辛勤劳动、努力攻关的结果,在此特向参加科研课题的单位及同志们表示衷心的感谢!渝黔铁路白沙沱长江大桥在建设过程中,得到了中国铁路总公司、重庆市人民政府、贵州省人民政府等单位和有关部门的关心和大力支持,也得到了许多桥梁前辈与同人的指导和帮助,在此向他们表示诚挚的谢意!

在本书的编写过程中,渝黔铁路有限责任公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁大桥勘察设计院有限公司、中铁大桥局集团有限公司、中国铁道科学研究院、西南交通大学组织了精兵强将,竭尽全力,为本书的出版奠定了坚实的基础。

由于作者水平有限,不妥之处敬请批评指正。

编著者

2015年5月

◎ 目 录 ◎

1 桥址自然概况	1
1.1 地形地貌	1
1.2 水 文	1
1.3 气 象	1
1.4 地 质	2
1.5 通航论证	7
1.6 行洪论证	7
1.7 地震危险性评价	7
1.8 施工水位	10
2 总体方案	11
2.1 概 述	11
2.2 线路方案以及孔跨布置	30
2.3 主 桥	31
2.4 引 桥	35
3 主桥合理结构	36
3.1 概 述	36
3.2 桥位方案	36
3.3 桥式方案	38
3.4 线路规模的确定	39
3.5 六线平层方案和六线分层方案对比分析	40
3.6 三片主桁与两片主桁斜拉桥对比分析	42
3.7 矩形正桁断面与倒梯形断面的对比分析	45
3.8 矩形正桁断面与两片主桁外设托架断面的对比分析	47
3.9 主桁合理结构形式	49
3.10 桥塔合理结构形式	51
3.11 斜拉索方案	52

3.12 大体积承台受力分析 52

3.13 大桥阻尼器的设置 53

3.14 大桥引桥方案 56

3.15 大桥结构计算 57

3.16 小 结 62

3.17 创新点 66

4 活载加载标准与疲劳加载标准 67

4.1 概 述 67

4.2 理论基础 68

4.3 主桁结构受力特点分析 70

4.4 计算参数 75

4.5 加载标准 76

4.6 损伤修正系数 80

4.7 疲劳设计方法 88

4.8 小 结 90

4.9 创新点 91

5 桥面系合理结构及轨道结构 92

5.1 概 述 92

5.2 桥面系方案 93

5.3 桥面系方案比选 94

5.4 钢结构桥梁上轨道结构主要特征 95

5.5 钢结构桥梁上轨道结构选型 96

5.6 有砟轨道减重措施 101

5.7 树脂合成轨枕轨道 101

5.8 CRTS III型板式无砟轨道 103

5.9 CRTS I 型双块式无砟轨道 104

5.10 无砟轨道与钢梁面连接方案 105

5.11 轨道-桥梁纵向相互作用 105

5.12 梁端位移对轨道结构设计影响分析 106

5.13 不同轨道结构过渡段 106

5.14 树脂合成轨枕力学性能试验 107

5.15 小 结 108

5.16 创新点 110

6 多线共振以及风车桥耦合动力分析	111
6.1 概 述	111
6.2 车辆和桥梁评判标准	120
6.3 车-线-桥耦合振动仿真分析	122
6.4 多线共振分析	133
6.5 桥址区风场特性研究及随机脉动风场模拟	136
6.6 静力气动参数 CFD 分析	156
6.7 风-车-桥耦合振动仿真分析	160
6.8 列车安全行车的封闭风速与限制速度	183
6.9 结构刚度评价	189
6.10 小 结	190
6.11 创新点	191
7 抗风性能	192
7.1 概 述	192
7.2 基本风参数	205
7.3 结构动力特性计算分析	206
7.4 主梁静力节段模型风洞试验	211
7.5 主梁节段模型颤振稳定性试验	217
7.6 主梁节段模型涡激共振试验	221
7.7 静风稳定性验算	224
7.8 斜拉索参数共振分析	224
7.9 主梁断面气动导纳风洞试验	234
7.10 风致内力计算分析	254
7.11 小 结	264
7.12 创新点	264
8 钢桁梁架设施工技术	265
8.1 概 述	265
8.2 主要内容及方法	265
8.3 2#墩钢梁架设方案	266
8.4 3#墩钢梁架设方案	276
8.5 钢梁拼装及线形控制	286
8.6 小 结	288
8.7 创新点	288

9 钢桁梁斜拉桥合龙关键技术 289

9.1 概 述 289

9.2 主要内容及方法 289

9.3 钢梁安装过程模型 289

9.4 合龙口敏感性分析 291

9.5 钢梁合龙施工方案 296

9.6 小 结 301

9.7 创新点 301

10 主要经济、社会效益分析及推广应用前景 302

参考文献 303

1 桥址自然概况

1.1 地形地貌

桥址区位于重庆市大渡口区跳蹬镇与江津区珞璜镇接壤地带,地面高程 180~270 m,相对高差约为 90 m,地形起伏不大,一般介于 $3^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。拟设特大桥为渝黔线控制性工程之一,在 DK17+342—DK17+990 横跨长江。长江总体上呈 $N77^{\circ}$ 展布,与线路近于直角相交。大桥先后跨越重庆岸构造剥蚀丘陵地貌区、河流侵蚀地貌区、河流堆积地貌区(长江阶地)和贵阳岸构造剥蚀浅丘地貌区。该桥重庆岸斜坡基岩出露良好,第四系土层零星分布,地形坡度为 $10^{\circ}\sim 18^{\circ}$;而贵阳岸地形被珞璜镇征地建设所改造,仅在局部保留原貌,建筑物密集,为当地居民住宅和工厂等。桥位处交通方便,两岸均有公路相通,右侧有既有线通过,且长江有船舶上下往来。图 1-1 为桥位处情况(既有白沙沱大桥旁边)。

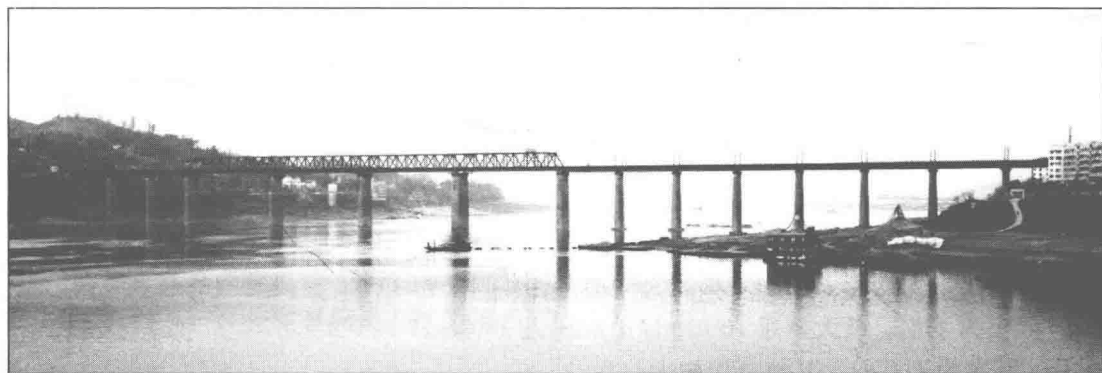


图 1-1 桥位处情况(既有白沙沱大桥)

1.2 水 文

由于通航净空控制,水文要素并不控制桥梁高程。

现状: $Q_{1/100} = 65\,300\text{ m}^3$, $H_{1/100} = 196.82\text{ m}$, $v = 2.93\text{ m/s}$;

三峡运行 30 年末: $Q_{1/100} = 65\,300\text{ m}^3$, $H_{1/100} = 196.82\text{ m}$, $v = 2.82\text{ m/s}$ 。

1.3 气 象

桥区属于北半球亚热带季风气候区,全年气候温和、四季分明、雨量充沛、日照尚足、无霜期长。

1.3.1 气 温

年平均气温 18.4°C ，冬季平均气温 7.7°C ，夏季平均气温 28.5°C 。极端最高气温达 42°C ，极端最低气温为 -2.3°C ，多数年份的极端最高气温稳定在 $39\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温在 0°C 左右。

1.3.2 降 雨

降雨集中，干湿季节明显，多年平均降雨量为 $1\,031\text{ mm}$ ，最多年为 $1\,267\text{ mm}$ ，最少年为 663 mm ；年平均降雨日数为 156 天，最长达 180 天，最少为 130 天。一日最大降雨量为 161 mm 。冬半年（ $11\sim 4$ 月）降雨量占 22% ，夏半年（ $5\sim 10$ 月）降雨量占 78% ，尤以 $6\sim 9$ 月降雨量最为集中，占全年的 56% 。

1.3.3 日 照

多年平均年日照时数 $1\,274\text{ h}$ ，占可照时数的 29% 。太阳总辐射量为 361.9 kJ/cm^2 。

1.3.4 湿 度

年平均蒸发量为 $1\,180\text{ mm}$ ，年最大蒸发量为 $1\,360\text{ mm}$ ，年最少蒸发量为 925 mm 。历年平均空气相对湿度为 81% ，一年中最大月为 10 月，为 86% ；最小月为 8 月，为 76% 。

1.3.5 气压、风

气压：多年平均气压 98.88 kPa ，月平均最高 1 月为 99.82 kPa ，月平均最低 7 月为 97.66 kPa 。

风：多年平均风速 1.2 m/s ，静风时间最多，其频率为 33% ；有风时间的最多风向为偏东北风，频率为 11% 。最大风速 10 m/s 以上的风占 33% ， 17 m/s 以上的风占 4% ，多出现在 7 、 8 两月，其次为 5 月份，其他月份极少。

1.4 地 质

1.4.1 地层岩性

桥址区地表上覆第四系全新统人工堆积层（ Q_4^{ml} ）、冲洪积层（ $Q_4^{\text{al+pl}}$ ）和坡残积层（ $Q_4^{\text{dl+el}}$ ），下伏基岩为侏罗系中统下沙溪庙组（ J_2^{xs} ）泥岩夹砂岩、砂岩、细砂岩以及砂岩夹泥岩，现将地层由新至老叙述如下：

<1-1>杂填土（ Q_4^{ml} ）

主要分布于贵阳岸珞璜镇一带，杂色，干燥，稍密~密实，主要由建筑垃圾等组成，厚 $0\sim 8.0\text{ m}$ ，属 II 级普通土。

<1-5>碎石土（ Q_4^{ml} ）

主要分布于贵阳岸珞璜镇既有铁路路堤和车站内，杂色，干燥，中密~密实，主要由砂

岩、泥岩等石质的碎石组成,石径 2~15 cm 不等,约占 60%,余为粉质黏土,厚 2~15 m,属Ⅲ级硬土。

<2-3>粉质黏土 (Q_4^{al+pl})

主要分布于贵州岸长江阶地人工填土之下,灰褐、灰黄色,质均匀,较细腻,干强度中等,韧性中等,刀切面光滑,钻孔揭露厚 1.6~10.8 m,属Ⅱ级普通土、E 组填料。

<2-5>细砂 (Q_4^{al+pl})

广泛分布于河床,杂色,稍密,潮湿~饱和,石质成分以灰岩、石英岩等组成,分选性好,覆于粗粒类土之上,呈条带状、层状分布,局部呈透镜状,厚 0.50~7.30 m,属Ⅰ级松土、C 组填料。

<2-9>卵石土 (Q_4^{al+pl})

灰黄、黄灰色,稍密~中密,稍湿。卵石约占 55%,粒径 20~200 mm;漂石约占 10%,粒径 >200 mm;余为黏土及少量圆砾。石质成分为石英砂岩、石英岩、灰岩及花岗岩等,多呈圆状,少量次圆状,分选性较好,层厚 4~12 m,伏于细粒类土之下,分布于长江河床内,属Ⅲ级硬土,填料分级为 B 组。

<3-2>松软土 (Q_4^{dl+pl})

主要分布于贵州岸既有珞璜车站段人工填土之下,灰褐、灰黄色,呈软塑状,可搓成 $\phi 2 \sim 5$ mm 的细土条,手捻略具砂感,局部砂粒较富集,底部含少量碎石,石质成分为砂岩和泥岩,呈条带状、层状分布,局部呈透镜状分布,钻孔揭露厚 2~8 m,属Ⅱ级普通土、D 组填料。

<3-3>粉质黏土 (Q_4^{dl+pl})

灰褐色,硬塑,质均匀,较细腻,干强度中等,韧性中等,刀切面光滑,呈透镜状分布,厚 0~8 m,属Ⅱ级普通土、D 组填料。

<4-2>粉质黏土 (Q_4^{dl+cl})

灰褐、紫红色,硬塑状,手捏略具滑腻感,在区内山丘表面广泛分布,厚 0~2 m,表层含少量植物根茎,属Ⅱ级普通土、D 组填料。

<7-5>细砂 (Q_3^{al+pl})

灰黄色,稍密~中密,含 80%细砂、20%泥质。呈层带状、透镜体状分布,厚 0~3 m,主要分布于重庆岸桥台一带,属Ⅱ级普通土、C 组填料。

<7-9>卵石土 (Q_3^{al+pl})

杂色,稍湿,中密,主要成分为灰岩、砂岩、花岗石等,粒径 10~70 mm,卵石含量约占 60%,余为砂、泥岩质土、粉质黏土填充,磨圆度较好,分选性较好,呈层状分布,厚 4~18 m,主要分布于重庆岸桥台一带,属Ⅲ级硬土、B 组填料。

<9-11>砂岩 (J_2^{xs})

灰、灰白色,细~中粒结构,厚层~块状构造,钙质胶结。岩层强风化带厚 0~3 m。强风化属Ⅳ级软石,填料级别为 D 组;弱风化属Ⅴ级次坚石,填料级别为 C 组。

<9-11-1>细砂岩 (J_2^{xs})

灰、灰褐色,细粒结构,厚层~块状构造,钙泥质胶结,钻孔揭露多为弱风化带。根据钻探揭露,细砂岩岩心胶结极差,遇水后极易崩解,手可轻易捏碎成砂状。该层弱风化属Ⅳ级软石,由于力学性质差,不宜作为填料。

<9-12>泥岩夹砂岩（J₂^{xs}）

泥岩为紫红、暗紫色，泥质结构，薄～中厚层状构造，质软，失去水后易开裂崩解。砂岩呈灰、灰白色，细～中粒结构，中厚层状构造，泥质胶结。岩层强风化带厚0～4.5 m。强风化属Ⅳ级软石，填料级别为D组；弱风化属Ⅳ级软石，因泥岩弱风化遇水易软化，暴露于空气中易风化，不宜直接作填料。

<9-12-1>页岩夹砂岩（J₂^{xs}）

页岩为灰黑色，泥质结构，薄～中厚层状构造，质软，失去水后易开裂崩解。砂岩呈灰色、青灰色，细～中粒结构，中厚层状构造，泥质胶结。岩层强风化带厚0～5.0 m。强风化属Ⅳ级软石，填料级别为D组；弱风化属Ⅳ级软石、C组填料。

岩土物理力学指标见表 1-1：

表 1-1 岩土物理力学参数建议值

层号 及成因	岩土 名称	稠度 或 风化 程度	天然 密度 ρ /(g/cm ³)	凝聚力 c /kPa	内摩 擦角 φ /(°)	基底 摩擦 系数 f	钻孔灌 注桩桩 周极限 摩阻力 f_i /kPa	单轴 饱和 和抗压 强度 R_c /MPa	基本承 载力 σ_0 /kPa	边坡率	
										临时 n'	永久 n
<1-1> Q ₄ ^{ml}	杂填土	欠压实	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—
<1-5> Q ₄ ^{ml}	碎石土	压实	2.2	—	30	—	—	—	150	1：1	1：1.25
<2-3> Q ₄ ^{al+pl}	粉质 黏土	硬塑	1.85	20	13	0.35	50	—	180	1：1	1：1.25
<2-5> Q ₄ ^{al+pl}	细砂	稍密	1.8	—	34	0.30	15	—	100	1：1.25	1：1.5
<2-9> Q ₄ ^{al+pl}	卵石土	稍密～ 中密	2.3	—	40	0.4	150	—	250	1：1	1：1.25
<3-2> Q ₄ ^{dl+pl}	松软土	软塑	1.8	15	10	—	16	—	120	挡护	挡护
<3-3> Q ₄ ^{dl+pl}	粉质 黏土	硬塑	1.85	20	13	0.35	50	—	180	1：1	1：1.25
<4-2> Q ₄ ^{dl+cl}	粉质 黏土	硬塑	1.85	20	13	0.35	50	—	180	1：1	1：1.25
<7-9> Q ₃ ^{al+pl}	卵石土	中密	2.3	—	50	0.4	150	—	450	1：0.75	1：1
<9-11> J ₂ ^{xs}	砂岩	W ₃	2.2	—	40	0.45	120	—	300	1：0.75	1：1
		W ₂	2.3	—	55	0.5	—	10	600	1：0.5	1：0.75
<9-11-1> J ₂ ^{xs}	细砂岩	W ₂	2.2	—	25	0.30	50	3	300	1：1	1：1.25
<9-12> J ₂ ^{xs}	泥岩 夹砂岩	W ₃	2.1	—	42	0.35	70	—	250	1：0.75	1：1
		W ₂	2.2	—	50	0.45	—	5	500	1：0.5	1：0.75
<9-12-1> J ₂ ^{xs}	页岩 夹砂岩	W ₃	2.1	—	40	0.35	70	—	250	1：0.75	1：1
		W ₂	2.2	—	45	0.40	—	4.0	400	1：0.5	1：0.75

1.4.2 地质构造与地震

1.4.2.1 地质构造

桥址区无断层、褶皱存在,为一简单的单斜构造,岩层产状为 $N3 \sim 8^\circ W/60 \sim 63^\circ NE$ 。地表风化裂隙发育,深部则以构造裂隙为主。本次实测发现,区内节理发育规律各不相同,长短不一,其主要发育 4 组,现分述如下:

J_1 节理:走向 $N84^\circ W$,倾向 NE,倾角 62° ,发育间距 $0.5 \sim 1.2$ m 不等,可见延伸长度 $2 \sim 4$ m 不等;张开~微张,局部泥质充填,面较平直光滑。

J_2 节理:走向 $N5^\circ E$,倾向 SE,倾角 53° ,发育间距 $0.8 \sim 1.5$ m 不等,可见延伸长度 $1 \sim 3$ m 不等,张开~微张,无充填,面较平直光滑,无充水现象。

J_3 节理:走向 $N4^\circ W$,倾向 SW,倾角 59° ,发育间距 $1 \sim 2$ m 不等,可见延伸长度 $1 \sim 5$ m 不等,微张,开度小于 3 mm,泥质半充填,面较平整光滑。

J_4 节理:走向 $N70^\circ E$,倾向 SE,倾角 88° ,发育间距 $0.5 \sim 1.3$ m 不等,可见延伸长度 $2 \sim 4$ m 不等,闭合,面较平直光滑,无充水现象。

1.4.2.2 地震动参数

据《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2001),本区地震动峰值加速度为 $0.05g$,地震动反应谱特征周期为 0.35 s,地震基本烈度值 VI 度。

1.4.3 地表水与地下水

1.4.3.1 地表水

长江江面为桥区内的地表水和地下水排泄侵蚀基准面,江面宽约 648 m,主要接受大气降水补给和上游地表河流、溪沟等地表、地下水体汇集补给。据所取长江江水分析,该江水为 $HCO_3^- - Ca^{2+} - Mg^{2+}$ 型水,对砼结构物无侵蚀性。

1.4.3.2 地下水

区内地下水主要接受大气降水补给,其地下水类型主要为第四系松散层孔隙水和基岩裂隙水两类。现在分别述如下:

第四系孔隙水:桥区地下水主要赋存于河床内的砂、圆砾及卵石中,主要接受长江江水补给,与江水互为补排关系,具有埋藏浅、富水性强、地下水丰富的特点。

基岩裂隙水:在地表主要分布于裂隙中,受季节影响显著,多以潜水形式赋存。据本次调查,在区内未发现该类泉点出露,多在地形低洼处以点滴状、浸润状等形式排泄,故该类地下水贫乏。

不良地质与特殊岩土:无不良地质存在,特殊岩土为松软土。

松软土:主要分布于贵州岸长江阶地人工填土之下,厚 $1.6 \sim 10.8$ m,呈条带状、层状分布,局部呈透镜状,埋深 $1.10 \sim 6.70$ m,软塑,压缩性大,含水率高,压缩模量小,承载力低,工程地质性能差,对工程有一定影响。

1.4.4 环境工程地质

1.4.4.1 环境对工程的影响

1) 桥区地形起伏不大, 植被较发育, 重庆岸人类工程活动较弱, 而贵州岸跨越珞璜镇, 人类工程活动强烈, 建筑物密集, 导致走廊狭隘, 对施工有一定影响。

2) 长江江水受季节影响, 在洪水季江水上漲迅速, 不利于工程施工; 而跨越的公路、铁路以及航道的运营将在一定程度上影响大桥的施工。

1.4.4.2 工程对环境的影响

1) 工程将影响长江特大桥跨越公路、铁路、航道以及周边交通线路的运营。

2) 工程施工及运营都将对沿线居民产生影响 (特别是在珞璜镇一带)。施工弃渣宜合理堆放, 尽量少占居民耕地; 施工应尽量避免废水、油污对附近水源的污染, 特别是对长江水源的污染。

1.4.5 工程地质评价

桥址区地形起伏小, 为简单的单斜构造, 两岸坡底下水文地质条件简单。该桥先后跨越重庆岸构造剥蚀丘陵地貌区、河流侵蚀地貌区、河流堆积地貌区和贵阳岸构造剥蚀浅丘地貌区。区内长江河床开阔顺直, 江面宽约 650 m, 江底标高约在 160 m, 水面标高约在 180 m, 长江水深约 20 m; 沿线覆盖层厚 1.2 ~ 16.55 m (钻探揭露), 两岸及江底基岩为 J_2^s 泥岩夹砂岩, 强风化带 0.5 ~ 3.5 m; 两岸坡坡度平缓, 在 $10^\circ \sim 15^\circ$, 岸坡大部分地段基岩出露, 岸坡稳定, 从三峡工程蓄水以来, 对岸坡的再造已趋于稳定; 地震基本烈度值为 VI 度, 远离活动性断裂构造带, 属抗震有利地段; 无不良地质存在, 特殊岩土为软土和人工填土, 地表水不具侵蚀性, 工程地质条件较好。

1.4.6 工程措施

1) 对覆盖层和强风化薄的墩台采用明挖基础, 其余则采用桩基础, 并置于基岩弱风化带 (W_2) 内有效深度。

2) 避免在雨季施工江内桥墩, 并设立警戒线, 确保施工和船舶运营安全。

3) 地表岩体风化严重, 在进行明挖过程中, 做好有效护壁措施, 防止松散堆积层和风化层中的松动岩块发生滑塌、掉落、垮塌等现象; 做好地下水输排工作和地表水截排工作。

4) 人工明挖桩基础应加强坑井通风工作, 并尽量避开洪季施工 (基坑工作), 以确保施工人员安全。

5) 在对两岸进行施工时, 应合理安排时间, 避免对当地居民日常生活造成影响, 避免对公路、铁路运营造成影响。

6) 在对墩台进行下基时, 应考虑泥岩易风化因素, 故在下基前应清除基坑风化岩体, 排泄水体。

7) 加强地表水和地下水复查工作。

1.5 通航论证

渝黔铁路白沙沱长江大桥建成后，将拆除川黔铁路白沙沱长江大桥，通航条件得到较大改善。

航道尺度及设计代表船队采用《内河通航标准》(GB 50139) I - (3) 级航道的二排二列船队作为代表船队，代表船型采用 5 000 t 级单船。

小南海水利枢纽工程建成后最高通航水位采用 194.74 m，作为渝黔铁路白沙沱长江大桥最高通航水位。

通航净高应在设计最高通航水位以上不小于 24.0 m，并尽可能提高通航净高。

设计桥梁主跨 432 m，副跨 162 m，能够满足通航要求。

防撞方面考虑船舶碰撞风险，主、副通航孔桥墩应按照代表船型、船队标准进行防撞设计，其他水中桥墩也应适当考虑防撞。

优化桥轴线布置并研究左主墩北移。

1.6 行洪论证

河演分析表明，桥梁工程附近河段河势基本稳定。

桥梁工程对所在河段的河势及行洪无明显不利影响。

数模计算结果表明：桥梁工程实施后，对工程河段的洪水位和流速场影响不大，影响范围主要在工程附近区域。

1.7 地震危险性评价

渝黔铁路白沙沱长江大桥位于中梁山背斜地带，属于川东中低山丘陵区，桥址处河谷总体走向为 N19°~58°E，两岸坡度为 35°~65°。地层为三叠系上统须家河组下段 (J₂^d) 砂岩夹页岩，总体产状为 N10°W/40°NE，为横向谷。发育多组节理，节理的交线属于滑坡构造面，在地震的激发下，滑坡的可能性增大。桥址附近第四系不发育，大桥场区内无活动断裂通过，无破坏性地震发生。

表 1-2 是工程场地的基岩水平加速度峰值的地震危险性分析计算结果。表中所列数据表明，对渝黔铁路白沙沱长江特大桥工程场地基岩加速度贡献较大的有 3 号 6.0 级潜源、7 号 6.0 级潜源、9 号 6.0 级潜源及 10 号 6.0 级潜源。这表明场地基岩加速度贡献主要来自中近场潜源的影响。

表 1-2 地震危险性分析结果 (基岩水平加速度峰值年超越概率)

潜源编号	0.2	0.5	1	5	10	20	50	100	150	200
3	0.032 40	0.024 00	0.008 60	0.000 72	0.000 02	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00
7	0.021 40	0.021 40	0.021 40	0.018 80	0.012 70	0.006 53	0.001 05	0.000 10	0.000 00	0.000 00
9	0.042 00	0.041 70	0.037 90	0.009 03	0.003 13	0.000 89	0.000 07	0.000 00	0.000 00	0.000 00
10	0.036 10	0.019 90	0.009 99	0.000 39	0.000 02	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00
超越概率	0.304 00	0.196 00	0.121 00	0.032 00	0.017 10	0.008 07	0.001 89	0.000 36	0.000 09	0.000 03
预定水平	0.04	0.0179	0.01	0.005	0.002 1	0.001	0.000 6	0.000 4	0.000 3	0.000 1
加速度/gal	3.8	9.5	16.4	28.3	47.1	67.0	82.2	96.2	105.8	147.0