

Cyclic Records of TBM Drilling Data: The Yinsong Water Diversion Project

(Volume I)

China Railway Engineering Equipment Group Co., Ltd.
China Institute of Water Resources and Hydropower Research
JiLin Province Water Resource and Hydropower Consultative Company
of P.R. China

August 2020

引松工程 TBM 施工人工智能

大数据汇编

(上册)

中铁工程装备集团有限公司

中国水利水电科学研究院

吉林省水利水电勘测设计研究院

2020 年 8 月

前 言

从 20 世纪 60 年代起，国内水利和煤矿行业最早探索尝试 TBM 的研制和使用。之后，在经历了多年的进口 TBM 和国外承包商施工后，终于在 2014 年迎来了第一台国产 TBM 的下线，截止目前，TBM 开始出口海外，逐渐从东南亚突破并进驻欧洲高端市场，中国 TBM 研制和施工走过了漫长曲折的道路，实现了从跟跑到并跑的转变，行业成就实属不易。

然而，在大家为国之重器啧啧称道时，我们不能忘记美国科学家罗兰 1883 年那句振聋发聩的话语：“因为没有寻根问底，中国人已远远落后于世界的进步。我们现在只将这个所有民族中最古老、人口最多的民族当成野蛮人”。我们成功地将庞然大物制造出来，也贯通了很多条地质复杂的隧道，但是，新的基础理论没有实现突破。其中很重要的原因就是能真正供研究使用的工程数据太少，工程具有唯一性和过程性，施工过程中的海量数据如果没有及时跟踪采集就会一去不复返。

针对以上问题，在国家 973 计划“TBM 安全高效掘进全过程信息化智能控制与支撑软件基础研究”项目支持下，中铁装备率先在建立了世界首个 TBM 施工数据云平台，为数据采集、存储提供了平台支撑。随后，将实际工程数据作为对象，依托机器学习和深度学习等人工智能技术，项目团队在岩体识别、掘进参数优化、风险预警等多个方面取得了令人鼓舞的成果，这更加坚定了我们继续不断积累 TBM 施工数据，推动智能化 TBM 技术的进步。

陈祖煜院士作为该项目的顾问专家，在充分了解项目进展后特地组织了全国“TBM 数据机器学习竞赛”，短短时间便吸引了多支科研院校和行业内产学研用各领域的知名专家共同参会，提出了倡议行业数据共享的莲花池宣言，得到了与会专家的一致认可。

此后，陈院士不辞辛劳、精心组织人员将吉林引松工程 120 亿条运行数据、18000 组掘进循环的数据进行了清洗筛选、分段处理，最终汇编成册。同时感谢吉林省水利水电勘测设计研究院齐文彪院长整理出翔实可靠的地质数据。最后，有一个形象的比喻讲大数据与人工智能之间的关系：如果人工智能系统比作一个飞行器的话，那么机器学习是引擎，大数据是最重要的燃料。同样地，为了推动智能化 TBM 研制进程，TBM 工程数据也是最重要的燃料。希望此次数据汇编工作能够引领国内 TBM 行业数据标准化和开放共享，为行业提供更多帮助。

李建斌

2020 年 8 月 9 日

编制说明

本书收集了吉林省引松工程 TBM3 四标段自 2015 年 5 月 29 日起至 2018 年 1 月 22 日的 TBM 挖进数据，数据起始桩号为 71+476.5，结束桩号为 51+705，全长 19.77km。

本书分为两部分。

第一部分“引松工程地质剖面图”为吉林省水利水电勘测设计研究院提供的竣工阶段资料汇编。

第二部分“引松工程掘进参数汇编”的原始资料由中铁工程装备集团有限公司提供。对原始数据进行划分，共获得 13,884 个掘进循环段，对应编号从 00000 至 13883，全书数据部分共 2,314 页，每页对应 6 个掘进循环段，每段均提供编号、起始桩号、起始时间、围岩分类、结束桩号和结束时间六项基本内容，并以时间为横坐标，以循环段的掘进速度、刀盘转速、刀盘扭矩和总推进力为纵坐标进行绘图，添加黑色竖线区将循环段划为空推段、上升段、稳定段和下降段。需要指出的是，这些原始数据中包括了非正常掘进段和异常传感器量测值，属于未校正的数据集。

本书均采用散点图绘制，采用双纵坐标，左侧纵轴对应掘进速度、刀盘转速和刀盘扭矩，右侧纵轴对应总推进力。为了整体的绘图效果，对速度和转速进行坐标处理，其中速度放大 10 倍，转速放大 100 倍，各参数单位为：

推进速度 10 mm/min，刀盘转速 100 rev/min，刀盘扭矩 kN.m，总推进力 kN。

本书由陈祖煜策划和组织编写，王双敬负责数据分割和处理工作，张云旆、杨文坤和李知航负责数据录入和校核工作。

编制单位对本书全部内容拥有知识产权，使用这些资料需获得本编制单位授权。

目录

第一部分 引松工程地质剖面图

地质图编号	首段起始桩号	页码
1	48901.8	1
2	51217.0	2
3	53561.0	3
4	55942.0	4
5	58254.0	5
6	60617.8	6
7	62978.0	7
8	65556.4	8
9	67825.0	9
10	70247.0	10
	工程概况	11
	地质情况	13

第二部分 引松工程掘进参数汇编

循环段编号	首段起始桩号	页码
00000-00005	71138.65	1
00006-00011	71129.83	2
00012-00017	71125.27	3
00018-00023	71116.37	4
00024-00029	71108.95	5
00030-00035	71097.67	6
00036-00041	71087.52	7
00042-00047	71080.84	8
00048-00053	71069.60	9
00054-00059	71061.95	10
00060-00065	71056.71	11
00066-00071	71046.92	12
00072-00077	71039.37	13
00078-00083	71028.03	14
00084-00089	71018.55	15
00090-00095	71007.21	16
00096-00101	70999.48	17
00102-00107	70990.16	18
00108-00113	70981.63	19
00114-00119	70972.16	20
00120-00125	70960.85	21
00126-00131	70951.43	22
00132-00137	70941.96	23
00138-00143	70934.45	24

00144-00149	70925.06	25
00150-00155	70917.48	26
00156-00161	70906.13	27
00162-00167	70896.66	28
00168-00173	70890.57	29
00174-00179	70883.55	30
00180-00185	70876.80	31
00186-00191	70848.93	32
00192-00197	70843.53	33
00198-00203	70834.43	34
00204-00209	70829.62	35
00210-00215	70824.08	36
00216-00221	70816.31	37
00222-00227	70812.12	38
00228-00233	70807.78	39
00234-00239	70802.47	40
00240-00245	70798.28	41
00246-00251	70794.66	42
00252-00257	70790.99	43
00258-00263	70788.01	44
00264-00269	70783.73	45
00270-00275	70778.21	46
00276-00281	70773.70	47
00282-00287	70769.15	48
00288-00293	70766.20	49
00294-00299	70763.28	50
00300-00305	70759.95	51
00306-00311	70755.40	52
00312-00317	70748.18	53
00318-00323	70740.84	54
00324-00329	70731.78	55
00330-00335	70722.71	56
00336-00341	70713.37	57
00342-00347	70703.55	58
00348-00353	70696.06	59
00354-00359	70688.59	60
00360-00365	70677.82	61
00366-00371	70668.38	62
00372-00377	70657.12	63
00378-00383	70649.29	64
00384-00389	70639.92	65
00390-00395	70628.83	66
00396-00401	70619.39	67
00402-00407	70609.92	68

00408-00413 70601.54	69
00414-00419 70592.06	70
00420-00425 70580.73	71
00426-00431 70571.29	72
00432-00437 70561.35	73
00438-00443 70550.04	74
00444-00449 70542.50	75
00450-00455 70533.01	76
00456-00461 70526.47	77
00462-00467 70517.04	78
00468-00473 70507.11	79
00474-00479 70498.75	80
00480-00485 70489.29	81
00486-00491 70479.68	82
00492-00497 70470.52	83
00498-00503 70461.11	84
00504-00509 70450.93	85
00510-00515 70439.62	86
00516-00521 70430.48	87
00522-00527 70419.19	88
00528-00533 70411.64	89
00534-00539 70400.49	90
00540-00545 70391.04	91
00546-00551 70383.45	92
00552-00557 70379.74	93
00558-00563 70375.31	94
00564-00569 70371.67	95
00570-00575 70367.99	96
00576-00581 70363.49	97
00582-00587 70359.91	98
00588-00593 70356.34	99
00594-00599 70352.50	100
00600-00605 70344.48	101
00606-00611 70339.08	102
00612-00617 70336.30	103
00618-00623 70331.92	104
00624-00629 70328.17	105
00630-00635 70319.04	106
00636-00641 70309.90	107
00642-00647 70305.57	108
00648-00653 70296.67	109
00654-00659 70293.07	110
00660-00665 70290.37	111
00666-00671 70287.55	112

00672-00677	70284.98	113
00678-00683	70282.27	114
00684-00689	70279.49	115
00690-00695	70277.52	116
00696-00701	70272.30	117
00702-00707	70266.52	118
00708-00713	70261.48	119
00714-00719	70253.36	120
00720-00725	70244.30	121
00726-00731	70235.73	122
00732-00737	70228.03	123
00738-00743	70216.80	124
00744-00749	70209.21	125
00750-00755	70198.93	126
00756-00761	70188.60	127
00762-00767	70177.29	128
00768-00773	70166.25	129
00774-00779	70159.66	130
00780-00785	70152.43	131
00786-00791	70140.14	132
00792-00797	70128.77	133
00798-00803	70117.93	134
00804-00809	70108.31	135
00810-00815	70097.34	136
00816-00821	70089.83	137
00822-00827	70078.56	138
00828-00833	70071.05	139
00834-00839	70062.12	140
00840-00845	70056.02	141
00846-00851	70045.55	142
00852-00857	70036.12	143
00858-00863	70027.63	144
00864-00869	70019.45	145
00870-00875	70010.48	146
00876-00881	70004.93	147
00882-00887	70000.17	148
00888-00893	69997.73	149
00894-00899	69992.05	150
00900-00905	69944.53	151
00906-00911	69936.78	152
00912-00917	69928.15	153
00918-00923	69920.30	154
00924-00929	69909.33	155
00930-00935	69898.17	156

00936-00941 69890.42	157
00942-00947 69887.56	158
00948-00953 69880.59	159
00954-00959 69877.82	160
00960-00965 69874.98	161
00966-00971 69871.61	162
00972-00977 69864.38	163
00978-00983 69857.18	164
00984-00989 69848.12	165
00990-00995 69837.44	166
00996-01001 69826.04	167
01002-01007 69814.80	168
01008-01013 69806.60	169
01014-01019 69796.06	170
01020-01025 69790.54	171
01026-01031 69778.88	172
01032-01037 69768.05	173
01038-01043 69761.10	174
01044-01049 69754.95	175
01050-01055 69746.06	176
01056-01061 69736.47	177
01062-01067 69725.30	178
01068-01073 69716.44	179
01074-01079 69707.20	180
01080-01085 69698.03	181
01086-01091 69690.34	182
01092-01097 69683.94	183
01098-01103 69678.08	184
01104-01109 69673.92	185
01110-01115 69668.49	186
01116-01121 69666.39	187
01122-01127 69659.45	188
01128-01133 69653.93	189
01134-01139 69647.70	190
01140-01145 69640.99	191
01146-01151 69631.47	192
01152-01157 69622.44	193
01158-01163 69618.11	194
01164-01169 69615.04	195
01170-01175 69610.02	196
01176-01181 69605.04	197
01182-01187 69601.15	198
01188-01193 69595.11	199
01194-01199 69587.97	200

01200-01205 69583.08	201
01206-01211 69577.54	202
01212-01217 69568.00	203
01218-01223 69562.61	204
01224-01229 69552.01	205
01230-01235 69544.41	206
01236-01241 69534.11	207
01242-01247 69525.21	208
01248-01253 69515.84	209
01254-01259 69507.48	210
01260-01265 69497.21	211
01266-01271 69488.80	212
01272-01277 69487.11	213
01278-01283 69483.32	214
01284-01289 69472.38	215
01290-01295 69468.34	216
01296-01301 69457.51	217
01302-01307 69447.66	218
01308-01313 69440.26	219
01314-01319 69430.93	220
01320-01325 69424.09	221
01326-01331 69417.76	222
01332-01337 69412.09	223
01338-01343 69410.21	224
01344-01349 69402.73	225
01350-01355 69391.54	226
01356-01361 69382.87	227
01362-01367 69371.68	228
01368-01373 69361.91	229
01374-01379 69350.73	230
01380-01385 69343.68	231
01386-01391 69336.70	232
01392-01397 69327.68	233
01398-01403 69282.94	234
01404-01409 69281.80	235
01410-01415 69280.99	236
01416-01421 69280.49	237
01422-01427 69279.21	238
01428-01433 69278.04	239
01434-01439 69276.65	240
01440-01445 69270.78	241
01446-01451 69270.20	242
01452-01457 69269.92	243
01458-01463 69269.30	244

01464-01469 69269.20	245
01470-01475 69257.21	246
01476-01481 69255.55	247
01482-01487 69253.80	248
01488-01493 69250.26	249
01494-01499 69241.58	250
01500-01505 69235.48	251
01506-01511 69231.52	252
01512-01517 69227.65	253
01518-01523 69223.99	254
01524-01529 69218.41	255
01530-01535 69214.84	256
01536-01541 69210.33	257
01542-01547 69205.21	258
01548-01553 69199.60	259
01554-01559 69192.78	260
01560-01565 69187.43	261
01566-01571 69181.43	262
01572-01577 69174.22	263
01578-01583 69165.03	264
01584-01589 69161.09	265
01590-01595 69155.93	266
01596-01601 69145.30	267
01602-01607 69137.38	268
01608-01613 69128.00	269
01614-01619 69118.65	270
01620-01625 69111.91	271
01626-01631 69105.86	272
01632-01637 69096.48	273
01638-01643 69086.74	274
01644-01649 69076.85	275
01650-01655 69068.61	276
01656-01661 69059.35	277
01662-01667 69048.29	278
01668-01673 69039.28	279
01674-01679 69029.98	280
01680-01685 69022.59	281
01686-01691 69013.59	282
01692-01697 69006.25	283
01698-01703 69000.48	284
01704-01709 68993.50	285
01710-01715 68987.40	286
01716-01721 68959.73	287
01722-01727 68948.45	288

01728-01733 68940.95	289
01734-01739 68936.27	290
01740-01745 68931.52	291
01746-01751 68927.71	292
01752-01757 68920.22	293
01758-01763 68913.05	294
01764-01769 68904.05	295
01770-01775 68895.81	296
01776-01781 68891.41	297
01782-01787 68884.18	298
01788-01793 68878.76	299
01794-01799 68872.09	300
01800-01805 68867.86	301
01806-01811 68863.09	302
01812-01817 68853.43	303
01818-01823 68844.57	304
01824-01829 68750.36	305
01830-01835 68743.40	306
01836-01841 68738.02	307
01842-01847 68730.60	308
01848-01853 68725.09	309
01854-01859 68716.86	310
01860-01865 68709.38	311
01866-01871 68696.18	312
01872-01877 68688.98	313
01878-01883 68679.99	314
01884-01889 68671.05	315
01890-01895 68663.77	316
01896-01901 68657.17	317
01902-01907 68653.06	318
01908-01913 68644.06	319
01914-01919 68635.26	320
01920-01925 68629.81	321
01926-01931 68618.96	322
01932-01937 68611.54	323
01938-01943 68601.16	324
01944-01949 68593.10	325
01950-01955 68583.92	326
01956-01961 68576.40	327
01962-01967 68566.73	328
01968-01973 68556.60	329
01974-01979 68547.16	330
01980-01985 68537.55	331
01986-01991 68530.50	332

01992-01997 68519.34	333
01998-02003 68511.84	334
02004-02009 68500.73	335
02010-02015 68492.06	336
02016-02021 68483.16	337
02022-02027 68472.49	338
02028-02033 68465.93	339
02034-02039 68454.64	340
02040-02045 68443.46	341
02046-02051 68434.12	342
02052-02057 68424.72	343
02058-02063 68414.05	344
02064-02069 68406.92	345
02070-02075 68401.75	346
02076-02081 68396.55	347
02082-02087 68391.20	348
02088-02093 68385.29	349
02094-02099 68374.57	350
02100-02105 68369.27	351
02106-02111 68364.27	352
02112-02117 68358.45	353
02118-02123 68204.27	354
02124-02129 68197.67	355
02130-02135 68193.35	356
02136-02141 68189.95	357
02142-02147 68186.53	358
02148-02153 68182.79	359
02154-02159 68178.74	360
02160-02165 68174.24	361
02166-02171 68169.36	362
02172-02177 68163.98	363
02178-02183 68160.47	364
02184-02189 68158.03	365
02190-02195 68154.55	366
02196-02201 68150.00	367
02202-02207 68146.73	368
02208-02213 68142.85	369
02214-02219 68139.20	370
02220-02225 68134.30	371
02226-02231 68129.73	372
02232-02237 68125.37	373
02238-02243 68121.72	374
02244-02249 68117.99	375
02250-02255 68112.54	376

02256-02261 68108.88	377
02262-02267 68103.92	378
02268-02273 68100.74	379
02274-02279 68096.07	380
02280-02285 68093.33	381
02286-02291 68089.79	382
02292-02297 68086.38	383
02298-02303 68083.18	384
02304-02309 68079.59	385
02310-02315 68074.18	386
02316-02321 68068.83	387
02322-02327 68065.92	388
02328-02333 68063.45	389
02334-02339 68062.20	390
02340-02345 68060.52	391
02346-02351 68058.34	392
02352-02357 68056.06	393
02358-02363 68052.59	394
02364-02369 68047.20	395
02370-02375 68043.65	396
02376-02381 68040.30	397
02382-02387 68034.62	398
02388-02393 68027.09	399
02394-02399 68019.32	400
02400-02405 68014.84	401
02406-02411 68009.45	402
02412-02417 68004.49	403
02418-02423 68000.42	404
02424-02429 67995.05	405
02430-02435 67991.87	406
02436-02441 67987.91	407
02442-02447 67984.29	408
02448-02453 67979.33	409
02454-02459 67976.19	410
02460-02465 67974.74	411
02466-02471 67969.84	412
02472-02477 67965.73	413
02478-02483 67960.80	414
02484-02489 67722.68	415
02490-02495 67953.70	416
02496-02501 67950.93	417
02502-02507 67943.62	418
02508-02513 67938.73	419
02514-02519 67934.45	420

02520-02525 67927.50	421
02526-02531 67918.43	422
02532-02537 67913.59	423
02538-02543 67909.39	424
02544-02549 67902.54	425
02550-02555 67896.80	426
02556-02561 67893.12	427
02562-02567 67889.63	428
02568-02573 67885.97	429
02574-02579 67880.60	430
02580-02585 67875.16	431
02586-02591 67870.10	432
02592-02597 67866.37	433
02598-02603 67862.80	434
02604-02609 67860.05	435
02610-02615 67857.06	436
02616-02621 67854.98	437
02622-02627 67851.18	438
02628-02633 67848.48	439
02634-02639 67844.30	440
02640-02645 67838.91	441
02646-02651 67833.56	442
02652-02657 67829.32	443
02658-02663 67825.63	444
02664-02669 67821.66	445
02670-02675 67817.21	446
02676-02681 67812.16	447
02682-02687 67808.67	448
02688-02693 67802.70	449
02694-02699 67797.25	450
02700-02705 67789.82	451
02706-02711 67783.70	452
02712-02717 67779.18	453
02718-02723 67773.78	454
02724-02729 67768.39	455
02730-02735 67763.03	456
02736-02741 67757.77	457
02742-02747 67752.32	458
02748-02753 67744.97	459
02754-02759 67738.69	460
02760-02765 67734.00	461
02766-02771 67730.70	462
02772-02777 67726.86	463
02778-02783 67724.16	464

02784-02789 67720.34	465
02790-02795 67716.80	466
02796-02801 67713.32	467
02802-02807 67708.18	468
02808-02813 67702.75	469
02814-02819 67698.26	470
02820-02825 67690.99	471
02826-02831 67685.66	472
02832-02837 67681.84	473
02838-02843 67677.98	474
02844-02849 67673.90	475
02850-02855 67668.51	476
02856-02861 67663.10	477
02862-02867 67659.42	478
02868-02873 67655.83	479
02874-02879 67652.82	480
02880-02885 67649.23	481
02886-02891 67645.59	482
02892-02897 67641.95	483
02898-02903 67638.30	484
02904-02909 67634.21	485
02910-02915 67630.41	486
02916-02921 67626.44	487
02922-02927 67620.66	488
02928-02933 67618.19	489
02934-02939 67615.20	490
02940-02945 67611.62	491
02946-02951 67607.77	492
02952-02957 67604.09	493
02958-02963 67600.88	494
02964-02969 67597.43	495
02970-02975 67593.66	496
02976-02981 67588.58	497
02982-02987 67583.99	498
02988-02993 67578.02	499
02994-02999 67574.23	500
03000-03005 67571.60	501
03006-03011 67567.14	502
03012-03017 67564.60	503
03018-03023 67560.98	504
03024-03029 67557.21	505
03030-03035 67553.16	506
03036-03041 67547.95	507
03042-03047 67544.37	508

03048-03053 67540.78	509
03054-03059 67536.35	510
03060-03065 67530.93	511
03066-03071 67526.91	512
03072-03077 67523.35	513
03078-03083 67518.62	514
03084-03089 67512.98	515
03090-03095 67508.88	516
03096-03101 67502.49	517
03102-03107 67498.02	518
03108-03113 67494.46	519
03114-03119 67489.75	520
03120-03125 67485.44	521
03126-03131 67480.11	522
03132-03137 67473.46	523
03138-03143 67467.89	524
03144-03149 67463.08	525
03150-03155 67458.41	526
03156-03161 67452.01	527
03162-03167 67444.08	528
03168-03173 67438.67	529
03174-03179 67434.09	530
03180-03185 67430.00	531
03186-03191 67426.84	532
03192-03197 67420.19	533
03198-03203 67415.97	534
03204-03209 67408.15	535
03210-03215 67401.82	536
03216-03221 67395.45	537
03222-03227 67389.95	538
03228-03233 67384.45	539
03234-03239 67377.24	540
03240-03245 67373.72	541
03246-03251 67367.66	542
03252-03257 67360.29	543
03258-03263 67353.89	544
03264-03269 67345.98	545
03270-03275 67341.66	546
03276-03281 67334.07	547
03282-03287 67327.32	548
03288-03293 67320.82	549
03294-03299 67312.34	550
03300-03305 67304.81	551
03306-03311 67293.55	552

03312-03317 67286.17	553
03318-03323 67278.17	554
03324-03329 67272.13	555
03330-03335 67271.30	556
03336-03341 67268.82	557
03342-03347 67257.52	558
03348-03353 67249.99	559
03354-03359 67242.49	560
03360-03365 67232.78	561
03366-03371 67222.12	562
03372-03377 67210.98	563
03378-03383 67201.27	564
03384-03389 67194.02	565
03390-03395 67184.66	566
03396-03401 67175.68	567
03402-03407 67166.41	568
03408-03413 67157.07	569
03414-03419 67148.63	570
03420-03425 67138.34	571
03426-03431 67128.95	572
03432-03437 67117.64	573
03438-03443 67106.88	574
03444-03449 67099.66	575
03450-03455 67088.95	576
03456-03461 67079.56	577
03462-03467 67070.39	578
03468-03473 67062.45	579
03474-03479 67053.30	580
03480-03485 67043.02	581
03486-03491 67032.71	582
03492-03497 67021.61	583
03498-03503 67012.50	584
03504-03509 67001.26	585
03510-03515 66991.57	586
03516-03521 66978.73	587
03522-03527 66970.73	588
03528-03533 66958.47	589
03534-03539 66949.16	590
03540-03545 66941.82	591
03546-03551 66932.40	592
03552-03557 66923.06	593
03558-03563 66915.52	594
03564-03569 66907.00	595
03570-03575 66899.98	596

03576-03581 66891.43	597
03582-03587 66880.15	598
03588-03593 66868.98	599
03594-03599 66860.14	600
03600-03605 66852.37	601
03606-03611 66842.88	602
03612-03617 66834.06	603
03618-03623 66826.67	604
03624-03629 66819.50	605
03630-03635 66815.20	606
03636-03641 66810.69	607
03642-03647 66803.95	608
03648-03653 66798.82	609
03654-03659 66792.40	610
03660-03665 66786.85	611
03666-03671 66776.35	612
03672-03677 66768.81	613
03678-03683 66759.00	614
03684-03689 66750.84	615
03690-03695 66743.34	616
03696-03701 66738.12	617
03702-03707 66735.95	618
03708-03713 66732.17	619
03714-03719 66727.43	620
03720-03725 66722.16	621
03726-03731 66716.68	622
03732-03737 66713.11	623
03738-03743 66707.69	624
03744-03749 66703.87	625
03750-03755 66698.06	626
03756-03761 66693.85	627
03762-03767 66689.37	628
03768-03773 66684.06	629
03774-03779 66679.33	630
03780-03785 66676.27	631
03786-03791 66670.81	632
03792-03797 66666.91	633
03798-03803 66662.48	634
03804-03809 66659.86	635
03810-03815 66654.65	636
03816-03821 66650.77	637
03822-03827 66647.30	638
03828-03833 66643.27	639
03834-03839 66353.28	640

03840-03845 66349.18	641
03846-03851 66347.41	642
03852-03857 66344.44	643
03858-03863 66341.07	644
03864-03869 66337.45	645
03870-03875 66332.42	646
03876-03881 66329.49	647
03882-03887 66327.38	648
03888-03893 66322.67	649
03894-03899 66317.32	650
03900-03905 66313.80	651
03906-03911 66310.28	652
03912-03917 66307.52	653
03918-03923 66304.90	654
03924-03929 66301.30	655
03930-03935 66297.72	656
03936-03941 66293.84	657
03942-03947 66287.78	658
03948-03953 66283.88	659
03954-03959 66281.58	660
03960-03965 66277.29	661
03966-03971 66274.26	662
03972-03977 66270.72	663
03978-03983 66267.01	664
03984-03989 66264.16	665
03990-03995 66260.84	666
03996-04001 66258.57	667
04002-04007 66254.61	668
04008-04013 66249.99	669
04014-04019 66246.97	670
04020-04025 66243.69	671
04026-04031 66240.11	672
04032-04037 66236.50	673
04038-04043 66231.58	674
04044-04049 66230.76	675
04050-04055 66228.55	676
04056-04061 66226.70	677
04062-04067 66225.59	678
04068-04073 66224.48	679
04074-04079 66223.46	680
04080-04085 66221.79	681
04086-04091 66219.64	682
04092-04097 66218.21	683
04098-04103 66215.87	684

04104-04109 66213.64	685
04110-04115 66210.61	686
04116-04121 66206.24	687
04122-04127 66200.12	688
04128-04133 66195.25	689
04134-04139 66190.70	690
04140-04145 66187.54	691
04146-04151 66182.72	692
04152-04157 66179.51	693
04158-04163 66173.99	694
04164-04169 66169.66	695
04170-04175 66163.30	696
04176-04181 66158.92	697
04182-04187 66155.55	698
04188-04193 66151.47	699
04194-04199 66147.23	700
04200-04205 66144.20	701
04206-04211 66140.62	702
04212-04217 66136.45	703
04218-04223 66129.32	704
04224-04229 66124.27	705
04230-04235 66120.30	706
04236-04241 66116.73	707
04242-04247 66113.13	708
04248-04253 66109.38	709
04254-04259 66104.88	710
04260-04265 66098.76	711
04266-04271 66091.51	712
04272-04277 66087.95	713
04278-04283 66079.21	714
04284-04289 66073.36	715
04290-04295 66065.86	716
04296-04301 66058.00	717
04302-04307 66051.74	718
04308-04313 66046.87	719
04314-04319 66042.01	720
04320-04325 66034.12	721
04326-04331 66026.74	722
04332-04337 66021.66	723
04338-04343 66014.14	724
04344-04349 66010.41	725
04350-04355 66008.46	726
04356-04361 66003.27	727
04362-04367 65994.30	728

04368-04373 65987.13	729
04374-04379 65977.62	730
04380-04385 65972.97	731
04386-04391 65967.59	732
04392-04397 65957.31	733
04398-04403 65952.50	734
04404-04409 65948.84	735
04410-04415 65943.83	736
04416-04421 65940.27	737
04422-04427 65937.28	738
04428-04433 65930.38	739
04434-04439 65923.19	740
04440-04445 65914.20	741
04446-04451 65907.01	742
04452-04457 65898.05	743
04458-04463 65887.25	744
04464-04469 65881.79	745
04470-04475 65872.90	746
04476-04481 65863.02	747
04482-04487 65853.49	748
04488-04493 65844.16	749
04494-04499 65833.10	750
04500-04505 65824.91	751
04506-04511 65819.39	752
04512-04517 65807.74	753
04518-04523 65796.90	754
04524-04529 65789.55	755
04530-04535 65778.50	756
04536-04541 65769.39	757
04542-04547 65763.83	758
04548-04553 65752.99	759
04554-04559 65741.77	760
04560-04565 65732.39	761
04566-04571 65727.69	762
04572-04577 65719.10	763
04578-04583 65714.07	764
04584-04589 65706.44	765
04590-04595 65695.59	766
04596-04601 65684.75	767
04602-04607 65677.27	768
04608-04613 65669.77	769
04614-04619 65662.52	770
04620-04625 65654.16	771
04626-04631 65647.26	772

第一部分

引松工程地质剖面图

工程概况

吉林省中部城市引松供水工程（简称“吉林引松工程”）是国家“十三五”规划的172项重大节水供水工程之一，同时也是吉林省有史以来规模最大、技术难度最大的大型跨流域引调水工程。

吉林引松工程从松花江上丰满水库引水至吉林省中部地区，向长春市、四平市、辽源市及所属的11个市（县、区）的城区，以及供水线路附近可直接供水的26个镇供水，同时退还和增加农业用水及河道生态用水，改善生态环境。工程年最大引水量10.29亿m³，设计引水流量38.0m³/s，工程总投资101.36亿元。

工程由丰满水库取水口、1条输水总干线、1处分水枢纽、3条输水干线、3个调蓄水库、11条输水支线组成。输水干线全长263.45km，包括总干线、长春干线、四平干线和辽源干线，在总干线末端冯家岭分水枢纽调压井下游连接2座提水泵站（四平干线、辽源干线）。

总干线及下游的长春干线，采用全程自流有压输水方式，有压隧洞总长为99.2km，其中丰满水库～饮马河段，为自然洞长72.1km的隧洞，线路途经温德河、岔路河、饮马河，在地形地貌上，这3条河谷，天然的将72.1km的线路，分割成近乎相等的3段山地，在3条河谷地带，隧洞埋深较浅，易于布置施工支洞。这样，3段山地采用3台开敞式TBM施工，开挖洞径7.90m，河谷段采用钻爆法施工，每台TBM掘进距离均为20km左右。

总干线四标段（TBM3）隧洞，位于总干线岔路河～饮马河段，起始桩号48+900m，终点桩号71+900m，全长23.0km。沿线设置施工临时支洞2处，7号支洞与主洞交叉处桩号为50+379，8号支洞与主洞交叉处桩号为61+054；施工竖井2处，小河沿施工竖井与主洞交叉处桩号为66+406，碱草甸子施工竖井与主洞交叉处桩号为68+190；3号调压井兼通风竖井桩号为56+147，饮马河调压井桩号为71+747。

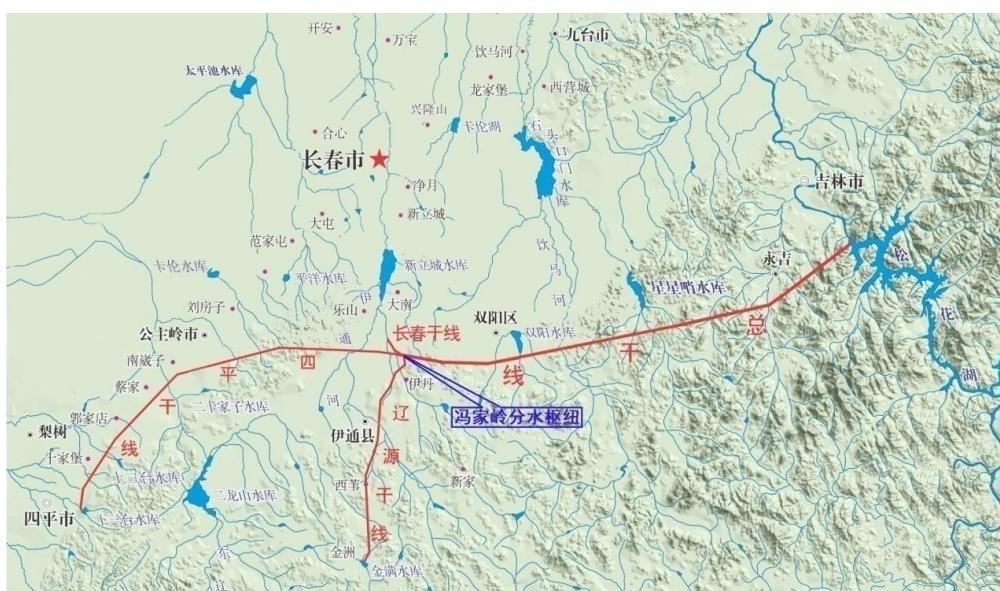


图1 吉林引松工程总体布置图

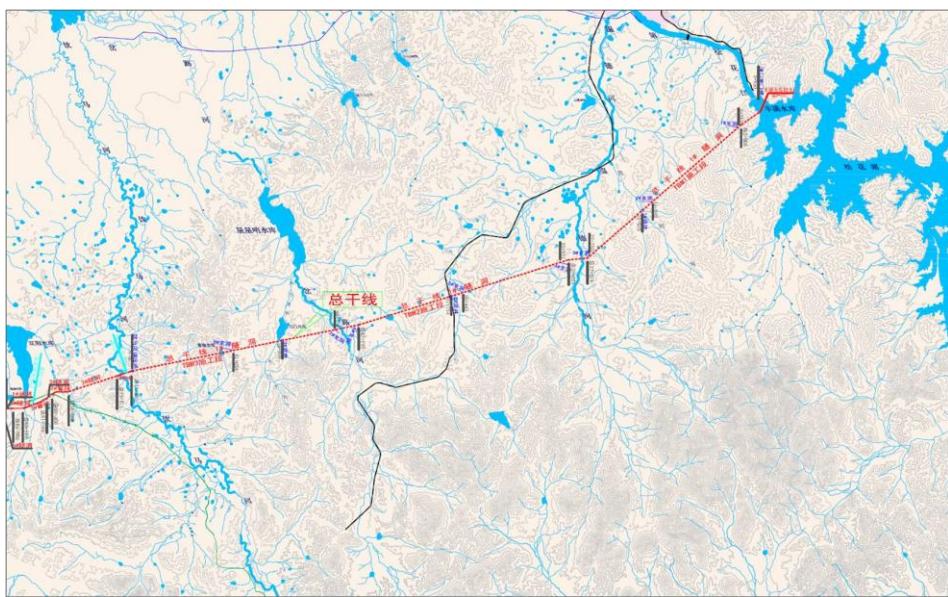


图 2 总干线 TBM 分段布置图

总干线四标段（TBM3）地质情况

1 工程地质条件

(1) 地形地貌

线路总体走向由北东向南西，地貌为低山丘陵和相间沟谷。沿线地形起伏，植被较发育，高程范围 264.0~484.0m，洞室最大埋深 260m。沟谷累计长度约 3229m。

(2) 地层岩性

本段涉及地层岩性主要有三叠系上统小蜂蜜顶子组凝灰岩，三叠系上统大酱缸组砂砾岩、碳酸板岩，石炭系中下统磨盘山组灰岩、砂岩等；石炭系下统余家屯组凝灰岩，石炭系下统鹿圈屯组凝灰质砂岩，泥盆系中下统碱草甸～常家街组灰岩、砂岩、泥质粉砂岩，以及第四系更新统坡洪积物；侵入岩为燕山期花岗岩、钠长斑岩、石英闪长岩，华力西晚期闪长岩。

隧洞穿越地层统计表见表 1，岩体(块)物理及力学性质试验成果见表 2，主要岩体(块)物理及力学性质指标建议值见表 3，TBM3 段隧洞围岩地质建议设计指标见表 4。

隧洞穿越地层统计表

表 1

桩号(m)	长度(m)	地层代号	洞室部位主要岩性	穿越断层及其他
48+900~50+180	1280	δO_5^2	石英闪长岩	$F_{w24\sim 1}$ 、 f_{w4} 、 $f_{1\sim 1}$ 、 $f_{1\sim 2}$
50+180~58+946	8766	γ_5^2	花岗岩 (其中 56+200~57+946 间见不连续分布有三叠系 (T_3X)凝灰岩, 出露累计长度 55m)	$f7\sim 3$ 、 $f7\sim 4$ 等 15 条小断层
58+946~62+394	3448	C_{1L}	凝灰质砂岩 ($59+854\sim 60+334$ 见岩屑晶屑)	$f4\sim 3$ 、 $f4\sim 4$ 等 31 条小断层
62+394~63+210	816	δ_4^3	闪长岩	$f5\sim 16\sim f5\sim 20$ 小断层
63+210~66+350	140	$C_{1\sim 2m}$	灰岩、凝灰质砂岩、泥岩等 (其中 66+234~66+320 间见闪光岩侵入体, 出露长度 86m, 风化严重)	$F_{34\sim 1}$ 较大区域断层及其他 3 条小断层
66+350~67+942	1592	$D_{1\sim 2ej}$	灰岩等 (其中 66+530~66+580 间土层侵入, 出露长度 50m)	小河沿沟谷 $F_{34\sim 2}$ 较大区域断层及其他 4 条小断层
67+942~71+131	3189	$C_{1\sim 2m}$	灰岩、泥岩、砂岩等 (其中 68+268~68+354 间土层侵入, 出露长度 86m)	$F_{38\sim 1}$ 、 $F_{40\sim 1}$ 较大区域断层及其他 6 条小断层
71+131~71+275	152	C_{1y}	凝灰岩	9 条小断层组成破碎带
71+275~71+382	99	T_{3d}	碳质板岩	$f7\sim 12$
71+374~71+382	8	C_{1y}	凝灰岩	$f7\sim 13$
71+382~71+498	116	ϕ_5^2	钠长斑岩	$f7\sim 14\sim f7\sim 19$ 小断层
71+498~71+625	127	T_{3d}	砂砾岩、碳质板岩	$f7\sim 19$ 、 $f7\sim 20\sim f7\sim 25$ 小断层
71+625~71+667	42	ϕ_5^2	钠长斑岩	
71+667~71+750	83	T_{3d}	砂砾岩	
71+750~71+830	80	ϕ_5^2	钠长斑岩	
71+830~71+900	70	T_{3d}	砂砾岩	

岩体(块)物理及力学性质试验成果表

表 2

桩号	地层 代号	岩性 名称	统计项目	颗粒密 度		吸水率		抗压强度		变形模 量		抗剪断强度		石英 含量 %	备注
				干 g/cm ³	饱和 g/cm ³	自然 %	干 MPa	饱和 MPa	软化 系数	抗拉 强度 MPa	弹性模 量 10 ⁴ MPa	泊松比	10 ⁴ MP 度		
48+900~50+179	δ_{05^2}	石英 闪长 岩	组数	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	蚀变	
			最大值	2.63	2.59	2.61	0.89	83.6	54.9	0.66					
			最小值	2.62	2.58	2.62	0.71	79.0	49.2	0.62					
			平均值	2.63	2.59	2.61	0.80	81.3	52.1	0.64					
46+700~50+179	δ_{05^2}	石英 闪长 岩	组数	6	6	6	6	6	6	3	3	3	1	1	1
			最大值	2.92	2.86	2.86	0.36	184.00	146.20	0.93	9.84	8.90	0.22		
			最小值	2.63	2.61	2.62	0.15	104.00	91.80	0.65	6.59	6.76	0.19		
			平均值	2.78	2.74	2.74	0.30	146.33	118.28	0.82	8.53	7.71	0.21	8.37	52.04 22
50+179~56+200	γ_5^2	花岗 岩	标准差	0.152	0.130	0.128	0.080	32.764	21.015	0.102					
			变异系数	0.055	0.047	0.047	0.268	0.224	0.178	0.125					
			修正系数	0.955	0.961	0.962	0.778	0.815	0.853	0.897					
			标准值	2.65	2.63	2.64	0.23	119.28	100.93	0.74					
			组数	9	9	9	9	5	4	4					
			最大值	2.65	2.62	2.63	0.61	78.60	52.30	0.67					
			最小值	2.63	2.59	2.60	0.32	41.20	24.80	0.47					
			平均值	2.64	2.61	2.62	0.46	56.88	36.85	0.60					
			标准差	0.007	0.013	0.012	0.110								
			变异系数	0.003	0.005	0.004	0.238								
			修正系数	0.998	0.997	0.997	0.851								
			标准值	2.64	2.60	2.61	0.39								

岩体(块)物理及力学性质试验成果表

续表 2

桩号	地层代号	岩性名称	统计项目	颗粒密度		密度		吸水率		抗压强度		软化系数		抗拉强度		弹性模量		泊松比		变形模量		抗剪强度		内摩擦角		备注
				g/cm ³	g/cm ³	干	饱和	自然	饱和	干	%	MPa	MPa	-	MPa	10 ⁴ MPa	-	10 ⁴ MPa	MPa	度	度	度	度	度	度	
50+179~56+200	γ_5^2	花岗岩	组数	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
			最大值	2.69	2.67	2.68	0.81			166.60	99.70	0.65	7.93	3.11	0.23											
			最小值	2.68	2.65	2.67	0.65			120.00	77.60	0.60	5.56	2.79	0.21											
58+970~60+220	C _{IL}	凝灰质砂岩	平均值	2.69	2.66	2.68	0.72			143.30	88.65	0.63	6.52	2.90	0.22											
			组数	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	
			最大值	2.71	2.68	2.70	0.55	0.57	96.60	65.05	0.67	4.89	3.05	0.32												
60+220~62+374	T _{3x}	凝灰岩	组数	2.62	2.60	2.61	0.37	0.40	75.70	42.75	0.56	1.92	2.63	0.28												
			最小值	2.66	2.64	2.65	0.46	0.48	86.15	53.90	0.62	2.95	2.81	0.30												
			平均值											2												
62+374~63+884	δ_4^3	闪长岩	组数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
			最大值												5.29	6.03	0.32									
			最小值												5.29	3.34	0.19									
			平均值	2.78	2.75	2.76	0.23	0.26	151.05	125.75	0.83	5.29	5.08	0.24		4.69	55.48	15								

岩体(块)物理及力学性质试验成果表

续表 2

桩号	地层代号	岩性名称	统计项目	颗粒密度		吸水率	抗压强度	软化系数	抗拉强度	弹性模量	泊松比	变形模量	抗剪断强度	内摩擦角	石英含量	备注
				g/cm ³	g/cm ³											
63+884~71+046	C _{1-2m}	灰岩	组数	30	30	30	30	22	20	20	3	3	3	1	1	1
			最大值	2.75	2.73	2.74	0.49	164.60	131.60	0.95	3.61	7.33	0.24			
			最小值	2.70	2.68	2.69	0.16	77.80	55.80	0.66	2.18	3.55	0.22			
			平均值	2.73	2.71	2.72	0.32	122.57	95.20	0.79	2.87	4.89	0.23	4.23	45.95	16
			标准差	0.015	0.016	0.016	0.090	27.410	25.496	0.080						
			变异系数	0.006	0.006	0.006	0.277	0.224	0.268	0.102						
			修正系数	0.998	0.998	0.998	0.912	0.917	0.895	0.960						
			标准值	2.72	2.70	2.71	0.29	112.35	85.19	0.76						
65+978~67+913	D _{1-2cj}	灰岩	组数	3	3	3	3	2	1	1						
			最大值	2.73	2.71	2.72	0.32	146.90								
			最小值	2.69	2.67	2.68	0.31	128.80								
			平均值	2.71	2.68	2.69	0.32	137.85	51.5	0.35						
71+466~71+855	Φ_5^2	钠长斑岩	组数	3	3	3	3	3	3	3						
			最大值	2.66	2.62	2.63	0.30	0.34	101.60							
			最小值	2.64	2.60	2.61	0.22	0.25	67.70							
			平均值	2.65	2.61	2.62	0.26	0.29	80.53							

3
卷

主要岩体(块)物理及力学性质指标建议值表

桩号	地层代号	岩性名称	颗粒密度	密度		吸水率		抗压强度		软化系数	抗拉强度	弹性模量	泊松比	变形模量	抗剪强度	石英含量	备注
				干	饱和	自然	饱和	干	饱和								
			g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%	%	MPa	MPa	-	MPa	10 ⁴ MPa	-	10 ⁴ MPa	度	%	
48+900~50+179	80 ₅ ²	石英闪长岩	2.63	2.59	2.61	0.80		78.1	50.0	0.64							0618 蚀变
46+700~50+179	80 ₅ ²	石英闪长岩	2.75	2.70	2.72	0.23		135.1	100.0	0.74	8.0	7.0	0.21	5.5	8.0	52	22
50+179~56+200	γ ₅ ²	花岗岩	2.64	2.60	2.61	0.39		60.0	36.0	0.60							0622 蚀变
50+179~56+200	γ ₅ ²	花岗岩	2.69	2.66	2.68	0.72		142.8	90.0	0.63	6.0	2.9	0.22	2.0	8.0	50	34
58+970~60+220	C ₁ 1	凝灰质砂岩	2.66	2.60	2.62	0.46	0.48	96.8	60.0	0.62	2.5	2.0	0.30	1.0	5.0	45	
60+220~62+374	T ₃ X	凝灰岩		2.70	2.70	0.14	0.18	90.9	60.0	0.66	4.0	6.3	0.29		6.0	50	
62+374~63+884	δ ₄ ³	闪长岩	2.75	2.70	2.72	0.23	0.26	120.5	100.0	0.83	5.0	5.0	0.24	3.5	4.5	50	15
63+884~71+046	C _{1-2m}	灰岩	2.72	2.70	2.71	0.29		106.6	80.0	0.75	3.0	4.5	0.23	3.0	4.0	45	16
65+978~67+913	D _{1-2cj}	灰岩	2.70	2.65	2.68	0.32		85.7	60.0	0.70							微风化
71+466~71+855	Φ ₅ ²	钠长斑岩	2.65	2.61	2.62	0.26	0.29	90.0	70.0	0.78							
71+466~71+855	T _{3d}	砂砾岩						2.62			65.0	50.0					

TBM3 段隧洞围岩地质建议设计指标表

表4

围岩类别	围岩岩性	单位弹性抗力系数(k_0)		坚固系数(f)	天然密度(ρ)	岩块饱和抗压强度(R_b)	岩块抗拉强度(σ_t)	岩体摩擦系数数(F)	岩体内聚力(c')	岩体变形模量(E_{50})	泊松比(μ)	岩体纵波速(Vp)
		(MPa/cm)	(g/cm ³)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(GPa)	-	(m/s)		
II	花岗岩、石英闪长岩、闪长岩	50-80	7-8	2.62-2.75	80-130	5-8	1.3-1.4	1.8-2.0	1.5-2.0	0.22-0.25	>4500	
	灰岩(C _{1-2m})	40-50	6-7	2.60-2.70	60-80	4-6	1.2-1.3	1.7-1.8	1.0-1.5	0.20-0.25	4000-4500	
III	花岗岩、石英闪长岩、闪长岩、钠长斑岩、砂岩	30-50	4-7	2.60-2.65	60-80	4-5	1.1-1.2	1.3-1.5	8-10	0.26-0.28	3000-4500	
	砂砾岩(T _{3d})、灰岩(C _{1-2m})、泥质粉砂岩(D _{1-2c})、凝灰质砂岩(C _{1D})、凝灰岩(T _{3X})	20-30	3-5	2.40-2.60	40-60	2-4	0.8-1.0	0.7-1.0	5-8	0.26-0.30	3000-4000	
IV		5-10	2-3	2.20-2.40	10-30	0.5-1	0.6-0.7	0.3-0.5	2-4	0.3	1000-2500	
V		<5	0.5-1	2.00-2.20	<5	<0.3	0.3-0.4	0.05-0.1	0.2-2	0.35	<1000	

说明：在下述条件下可不考虑围岩抗力或取低值：①围岩厚度小于3倍隧洞开挖直径；②围岩厚度小于0.5~0.6倍内水压力水头；③围岩在内水压力作用下可能产生破坏。

针对总干线 1#勘探试验洞弱风化凝灰岩、2#勘探试验洞微新石英闪长岩等进行了承压板法岩体变形试验、岩体直剪试验、径向液压枕法试验、条带法加载岩体变形试验、常规岩体变形试验等试验研究。

1# 勘探试验洞位于主洞桩号 22+750 处，岩性为凝灰岩，弱风化，灰褐色，较破碎，局部有灰白色斑晶均匀分布，大小 5cm 左右，部分结构面风化蚀变呈黄色，多呈陡倾角，部分钙质胶结。

2# 勘探试验洞位于主洞桩号 47+799 处，岩性为石英闪长岩，微新，砖红色，局部有圆形或椭圆形暗褐色斑点分布，均匀分布的斑点大小 1cm 左右，斑状物最大直径约 20cm，裂隙发育一般，次块状结构，结构面多呈陡倾角。

在总干线岔路河~饮马河段的 TBM 穿越灰岩段隧洞，对灰岩、闪长岩、灰岩和闪长岩接触带进行了原位承压办法岩体变形试验、常规岩体变形试验、声波测试等试验研究。

TBM 隧洞内现场岩体力学试验位置 3 处，桩号 68+692~68+697 处，岩性为石炭系中下统磨盘山组灰岩，灰白色，岩石坚硬，呈微风化状态，出露灰绿色岩脉；桩号 63+660~63+650 处，岩性为石炭系中下统磨盘山组灰岩及华力西晚期闪长岩，围岩岩性较复杂，为灰岩和闪长岩岩性接触带，灰白色，中细粒结构，块状构造，矿物成份为斜长石、石英、角闪石和黑云母组成，岩石坚硬，呈微风化状态，出露灰绿色岩脉，该段局部出露红褐色泥质；桩号 69+408~69+414，岩性为石炭系中下统磨盘山组灰岩，灰白色，主要成分为方解石及生物碎屑，有灰白色粘土岩脉出露，岩石微风化，坚硬岩，岩壁干燥。

1#、2# 勘探试验洞及 TBM 隧洞内现场岩体力学试验综合成果见表 5。

现场岩体力学试验综合成果

表 5

岩性	风化程度	特性	变形模量 (GPa)			岩体单位抗力系数 (MPa/cm)	抗剪断峰值强度		
			常规试验	弹性抗力试验	条带法变形试验		f	摩擦角(°)	C' (MPa)
凝灰岩	弱风化	破碎结构	2.00~6.35 3.75	6.65~10.7 9.11	8.60~10.3 9.45	51.2~82.4 70.1	1.10	47.7	1.23
石英闪长岩	微新	次块状结构	25.5~37.2 29.6	15.0~18.0 16.3	16.7~35.3 27.6	120.3~144.4 130.2	1.51	56.5	1.28
	弱风化	破碎结构	6.52~14.2 10.4	-	-	-	-	-	-
灰岩	弱风化	块状结构	12.7~25.1 18.8	-	-	-	-	-	-
	微新	块状结构	30.7~53.0 42.4	-	-	-	-	-	-
闪长岩	微新	块状结构	24.7~61.9 47.0	-	-	-	-	-	-

(3) 主要工程地质问题

① 褶皱与断层

本区褶皱构造不发育，灰岩地层以单斜地层及层间小褶皱为主。测区断裂构造活动期与各构造旋回是一致的。断裂构造方向以 NE 和 NW 为主，断裂构造多有继承性和复合型的特点。施工开挖揭露断层 99 条，宽度较大的断裂，多出现在河谷地带，共有 10 余条，施工中出现较大塌方。断层破碎带组成物质有碎裂岩、糜棱岩、断层(泥)砾。松散、破碎，一般含水。在岩性接触带，节理裂隙发育，岩体破碎，富水性强。TBM 施工中发生较大塌方 10 余次。

② 涌水

中等透水岩体埋深在 40m 以内，弱透水岩体埋深在 100m 以内，岩体的透水性和富水性与其结构面情况紧密相关。浅部岩体结构面多张开或微张，而深部则多闭合，咬合紧密。随深度增加，裂隙水越来越少，地下水位以下有时并没有水，不受补给影响或影响很小，对隧洞而言地下水影响不大。

施工中发生涌水、突泥问题的洞段，主要在灰岩岩溶地区及较大断层破碎带处。河谷、沟谷浅埋段：小河沿、碱草甸子沟；构造发育沟谷段：Fy26、F30、F34-1、F34-2、Fw32 等构造带；线路穿越、靠近水库段：黄榆水库、石门水库。

TBM3 段较大塌方统计表见表 6。

TBM3 段隧洞较大塌方汇总表

表 6

序号	地貌	桩号	地质情况	估计方量(m ³)
1	山坡	54+170.0~54+216.8	岩性为花岗岩，岩石强~弱风化状态。发育一断层 Fw25-2，地下水状态为滴水，局部线状流水。结构面见泥化、软化现象。受断层及不利结构面影响，围岩极不稳定。IV 偏差。	509
2	沟谷	54+847.3~54+900.4	岩性为花岗岩，岩石强~弱风化状态。发育一断层 FY26，地下水状态为滴水，局部线状流水。结构面见泥化、软化现象。受断层及不利结构面影响，围岩极不稳定。IV 偏差。	425
3	山坡	54+944.5~54+954.4	岩性为花岗岩，岩石强~弱风化状态。发育一断层 Fw26，地下水状态为滴水，局部线状流水。结构面见泥化、软化现象。受断层及不利结构面影响，围岩极不稳定。V 类。	166.7
4	山坡	54+963.4~55+003.0	岩性为花岗岩，岩石强~弱风化状态。发育一断层 Fw26，地下水状态为滴水，局部线状流水。结构面见泥化、软化现象。受断层及不利结构面影响，围岩极不稳定。IV 偏差。	257.9
5	石门子河谷	56+231.5~56+241.5	岩性为花岗岩，岩石强~弱风化状态。受岩性接触带及不利结构面组合影响，岩体破碎，围岩极不稳定。V 类。	142
6	石门子河谷	56+281.1~56+291.5、 56+303.0~56+313.0	岩性为花岗岩夹杂有凝灰岩，受 NE 构造破碎带影响，岩石呈强~弱风化状态。结构面见泥化、软化现象，围岩不稳定。IV 偏差。	182
7	石门子河谷	56+474.6~56+495.3	凝灰岩与花岗岩接触带，没有明显规律。受其影响，节理裂隙极发育，岩体呈碎裂结构。该段埋深浅，风化严重，处于强风化与弱风化带界线附近，破碎带泥化。岩石呈黄褐色。局部存在股状涌水及淋水现象。围岩无自稳能力。V 类。	281
8	石门子河谷	56+556.9~56+574.0	受附近破碎带影响，护盾后面拱顶及撑靴范围内不断引起较大塌方，且塌方纵向联系密切。V 类。	649
9	沟谷	60+328.7~60+334.0	凝灰岩夹砾岩，整体围岩完整性差。地下水整体发育，局部存在滴水及线状流水现象。该段出露两条节理 J4-49 与 J4-50 相互切割，并受构造影响，形成了不稳定岩体，掘进通过时，围岩后面拱顶范围内引起了较大塌方。IV 偏差。	28.2
10	小河沿河谷	66+217.0~66+243.0、 66+274.0~66+290.0、 66+307.0~66+329.0	发育一条 NW 走向 F34-1 断层及多条小断层，灰岩中出露闪长岩体，岩体较破碎，风化程度高，同时在护盾后 3m 右侧至刀盘掌子面中心约 1~2m 深形成条形溶蚀溶洞，溶洞充填物主要为泥夹碎石，围岩不能自稳，出现涌水突泥现象。“3.24涌泥”。围岩为 V 类。66+223 后期地表出现塌陷坑。	1790
11	沟谷	70+323.0~70+335.0、 70+380.0~70+396.9	岩性为灰岩和碳质板岩，碳质板岩揉皱发育，结构面呈镜面，黝黑发亮，遇水泥化，围岩不稳定。IV 类。	70
12	山坡	70+768.0~70+792.0、 70+800.0~70+817.0	岩性为灰岩和碳质板岩，碳质板岩揉皱发育，结构面呈镜面，黝黑发亮，遇水泥化，围岩不稳定。IV 类。	114

2 岩溶地质条件

(1) 岩溶发育条件

①根据岩矿分析，石炭系、泥盆系灰岩较纯，较易发育岩溶。②从岩溶组合条件分析，属于连续层的厚度 100~200m，岩层中有岩脉、非溶岩层夹层，对岩溶发育的规模有一定的制约作用。③从区内岩溶地貌分析，没有南方典型的岩溶地貌景观，如岩溶洼地、漏斗、大的岩溶洞穴、岩溶泉等岩溶地貌特征，表征本区岩溶相对不发育。④从钻探资料分析，地下岩溶主要是近浅表的溶沟、溶槽、溶蚀裂隙，溶洞，充填有紫红色残积土及块石，溶洞中见水流沉积物，发育的深度 30~50m，30m 以上到基岩面之间较相对发育，发育的部位，主要位于较大的沟谷及附近，分水岭地段发育相对较弱。基岩面到 30m 深度内类似地下石林，沟槽相间，30m 以下岩溶沟槽密度和规模减小。⑤地下岩溶充填物，紫红色残积土，灰色土属于后期外来充填，或可溶岩中非岩溶夹层充填。

(2) 岩溶水文地质

穿灰岩区洞线主要沿山脊或分水岭走，在灰岩边部的高位置穿过，条件相对较好，属于补给区，径流排泄条件较好，岩溶水排泄基准面为饮马河，降雨径流经沟谷很快排泄到饮马河，多年平均入渗深度 78.8mm，地下水水量有限。

①区内未发现大的岩溶泉，最大的为 Q27，位于隧洞轴线以南，枯水流量 8.3L/s，其余的仅 0.1~2L/s。岩溶地下水：一是补给面积不大，地表径流条件较好；二是无封闭洼地补给；三是沟谷切割，形成分散的小水文地质单元；四是岩体中非溶岩夹层较多；五是未形成大的岩溶系统。从总的可溶岩面积分析，7km 可溶岩隧洞段按 $7 \times 7 \text{ km}^2$ 计，最枯径流模数按 10L/s 计，总枯水流量 $< 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。② 岩溶泉水主要出露在沟谷及附近，沟谷之间有地下水分水岭，各自形成多个小的排水系统，规模较小，水量有限，主要有小河沿沟、碱草甸子沟及其它几个小沟。③由沟谷向两侧分水岭地下水水力坡降变陡，沟中较平缓，且地下水带承压性质，说明沟谷区为地下水的排泄区，地下水较丰富，该区水力联系较好，据抽水试验，渗透系数为 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$ 量级。本区现代岩溶不发育，古代岩溶与南方地区相比，相对微弱。岩体中非岩溶夹层较多，难以形成大的岩溶系统。发生类似南方大规模涌水涌泥的概率不大，但在小河沿沟、碱草甸子沟及北沟附近可能发生中小规模的涌水涌泥。

施工期 TBM 开挖揭露共发现大型溶洞、中型溶洞、小型溶洞、溶孔、溶蚀裂隙、溶蚀宽隙和溶蚀条带 52 处。洞线高程以上：溶蚀裂隙、溶蚀宽缝；洞线高程：溶蚀条带、溶腔、溶洞；洞线高程以下：岩溶不发育。大中型溶洞 9 处，主要分布在顶拱、上断面和侧壁，个别全断面分布，看不出明显形状。溶洞最大尺寸长 22m、宽度大于 8m、深度 4~5m。溶洞

内充填粘性土、砂砾碎石及岩屑等，个别位置发育方解石晶簇，局部位置存在无填充空腔，可见沉积韵律和沉积旋回。相邻沟谷的岩溶水水力联系不大。

小河沿段（桩号 66+342~66+338）涌水。2016 年 2 月 29 日，小河沿段发生涌水，涌水类型为脉状岩溶管道涌水，吉林院 3 月 1~9 日观测到的最大涌水量为 $921.82 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最小涌水量为 $415.38 \text{ m}^3/\text{h}$ 。附近有钻孔长观井二个（C1061、C1206），民井观测井二个（CMJ5-1、CMJ5-3），泉水观测点一个（CQ1207）。地下水有两个来源，①沿着 F34-1 断层破碎带流向洞内，②沿着东侧沟谷溶蚀裂隙、溶洞流向洞内。涌水没有影响到邻谷的地下水。桩号 66+356~66+340 隧洞左上侧有一溶蚀宽缝。

北沟段（桩号 64+746.5~64+699）涌水。2016 年 5 月 30 日，北沟段发生涌水，涌水类型为脉状岩溶管道涌水，涌水中含泥砂、碎块石量大，吉林院 5 月 31 日~6 月 2 日观测到的最大涌水量为 $718.04 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最小涌水量为 $324.37 \text{ m}^3/\text{h}$ 。附近有钻孔长观井 2 个（C1058、C1201），民井观测井 2 个（CMJ3-1、CMJ3-2），自来水井观测井 1 个（CMJ3-4），泉水观测点一个（CQ1204）。地下水有 2 个来源，①沿着 Fw32 溶蚀裂隙、溶洞流向洞内，②沿着东侧沟谷溶蚀裂隙、溶洞流向洞内。涌水没有影响到邻谷的地下水。北沟段共 3 处涌水，均在溶蚀槽位置。

3 总干线地应力测试

地应力是长大有压隧洞所要研究的重要岩石力学参数，对总干线隧洞布置了 4 个地应力测试孔，进行了水压致裂法原地应力测试；Y0901 孔，桩号为 8+256，孔深为 340m，岩性为花岗岩；Y0902 孔，桩号为 19+297，孔深为 310m，岩性为花岗岩；支 8 孔，桩号为 50+379，孔深为 124m，岩性为花岗岩；1097 孔，桩号为 109+566，孔深为 85m，岩性为花岗岩。对总干线的 1#勘探试验洞、2#勘探试验洞进行了套芯解除法和三维水压致裂法地应力测试；1#勘探试验洞位于主洞桩号 22+750 处，岩性为弱风化凝灰岩；2#勘探试验洞位于主洞桩号 47+799 处，岩性为微新石英闪长岩。

(1) Y0901 孔，最大水平主应力为 $8.0\sim17.0 \text{ MPa}$ ，最小水平主应力为 $6.0\sim11.0 \text{ MPa}$ ，垂直应力 S_v 为 $2.0\sim9.0 \text{ MPa}$ 。

(2) Y0902 孔，最大水平主应力为 $9.0\sim17.0 \text{ MPa}$ ，最小水平主应力为 $5.0\sim10.0 \text{ MPa}$ ，垂直应力 S_v 为 $3.0\sim8.0 \text{ MPa}$ 。

Y0901 孔和 Y0902 孔，各测段最大水平主应力方向统计显示，测点附近最大主应力优势方向为 $\text{NE}73^\circ\sim\text{NE}77^\circ$ ，说明优势方向为近东西向；根据测试成果，经估算，在洞室最大埋深部位的 540m 的最大水平主应力值约为 20 MPa ，属于中等应力水平。

(3) 支 8 孔, 最大水平主应力为 6.8~7.7MPa, 最小水平主应力为 4.6~5.5MPa, 铅直应力 σ_z 为 2.9~3.3MPa。最大水平主应力方向为 N52°E~N60°E。

(4) 1097 孔, 最大水平主应力为 4.5~7.1MPa, 最小水平主应力为 3.5~5.2MPa, 铅直应力 σ_z 为 1.5~1.8MPa, 最大水平主应力方向为 N49°E~N53°E。

支 8 孔和 1097 孔, 属于中低应力水平, 最大水平主应力方向与隧道轴线的夹角分别为 25° 和 33°, 对围岩稳定性比较有利。

(5) 1# 勘探试验洞, 最大水平主应力为 5.2~7.9MPa, 最大水平主应力方位为 N78°~85°E。

(6) 2# 勘探试验洞, 最大水平主应力为 3.5~8.8MPa, 最大水平主应力方位范围为 N65°~71°E。

1# 勘探试验洞和 2# 勘探试验洞, 属于中低应力水平, 测区以水平应力为主导; 测区应力方向比较稳定, 最大水平应力方位为 NEE~EW 向。

第二部分

引松工程掘进参数汇编

